

GOBIERNO DE CHILE  
COMISION NACIONAL  
DEL MEDIO AMBIENTE

# GUÍA PARA EL CONTROL Y PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL



## Rubro Fundiciones

Por un trabajo sano y seguro

**COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE -  
REGIÓN METROPOLITANA**

**GUÍA PARA EL CONTROL Y PREVENCIÓN DE LA  
CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL**

**RUBRO FUNDICIONES**

1

**SANTIAGO  
OCTUBRE 2001**

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
1.1. REPRESENTATIVIDAD DEL SECTOR EN LA REGIÓN METROPOLITANA	5
1.2. INDICADORES ECONÓMICOS DEL SECTOR	6
<b>2. ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
2.1. MATERIAS PRIMAS E INSUMOS	7
2.2. PROCESOS DE PRODUCCIÓN APLICADOS EN CHILE	8
2.2.1. Proceso productivo	8
2.2.2. Principales equipos	9
2.3. PRODUCTOS DE FUNDICIONES	10
2.3.1. Productos de fundiciones ferrosas	10
2.3.2. Productos de fundiciones no ferrosas	10
<b>3. GENERACIÓN DE RESIDUOS Y ASPECTOS AMBIENTALES</b>	<b>12</b>
3.1. IMPORTANCIA DEL SECTOR EN RELACIÓN A LOS ASPECTOS AMBIENTALES	12
3.2. FUENTES DE GENERACIÓN DE CONTAMINANTES	12
3.3. CARACTERIZACIÓN DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA	13
3.4. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	16
3.5. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS	17
3.6. MOLESTIAS	17
3.7. IMPACTOS AMBIENTALES ACTUALES Y POTENCIALES GENERADOS POR EL SECTOR	18
<b>4. PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS</b>	<b>19</b>
4.1. CONTROL DE PROCESOS, EFICIENCIA Y PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN	19
4.1.1. Control durante proceso de manipulación de materias primas	19
4.1.2. Control durante proceso de preparación de moldes y almas	19
4.1.3. Control durante proceso de carga del horno	19
4.1.4. Control durante el proceso de fundición y fusión de metales	19
4.2. TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN LIMPIAS	20
4.3. MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS	20
4.4. IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL	21
<b>5. MÉTODOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN (END-OF-PIPE)</b>	<b>22</b>
5.1. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTOS DE EFLUENTES LÍQUIDOS	22
5.2. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTOS DE GASES Y PARTICULADO	22
5.2.1. Tecnologías de tratamiento de gases	22
5.2.2. Tecnologías y equipos para tratamiento de material particulado	23
5.3. ELIMINACIÓN Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	25
5.4. SISTEMAS FACTIBLES DE CONTROL DE CONTAMINANTES	26
<b>6. ASPECTOS FINANCIEROS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN</b>	<b>27</b>
6.1. COSTOS DEL USO DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS	27
6.2. COSTOS DE MEDIDAS DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN	27
6.3. ALTERNATIVAS DE FINANCIAMIENTO	28
6.3.1. Fondo de asistencia técnica (FAT) PYME, SERCOTEC	28
6.3.2. Proyectos de Fomento, PROFO-PYME	29

6.3.3. Leasing	30
6.3.4. Operaciones de leasing utilizando Cupones de Bonificación a Seguros de Créditos (CUBOS)	30
<b>7. SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL</b>	<b>32</b>
7.1. PRODUCTOS QUÍMICOS PELIGROSOS Y TÓXICOS	32
7.2. CONTROL DE RIESGOS	32
7.3. PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES	32
<b>8. LEGISLACIÓN Y REGULACIONES AMBIENTALES APLICABLES A LA INDUSTRIA</b>	<b>33</b>
8.1. NORMATIVAS QUE REGULAN LA LOCALIZACIÓN DE LAS INDUSTRIAS	33
8.2. NORMATIVAS QUE REGULAN LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS	34
8.3. NORMATIVAS QUE REGULAN LAS DESCARGAS LÍQUIDAS	36
8.4. NORMATIVAS APLICABLES A LOS RESIDUOS SÓLIDOS	37
8.5. NORMATIVAS APLICABLES A LOS RUIDOS	38
8.6. NORMATIVAS DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL	38
8.7. NORMAS REFERENCIALES DEL INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN	41
8.7.1. Normas relativas al agua	41
8.7.2. Normativas de salud y seguridad ocupacional	41
<b>9. PROCEDIMIENTOS DE OBTENCIÓN DE PERMISOS (AUTORIZACIONES), CONTENIDO Y FISCALIZACIÓN</b>	<b>43</b>
9.1. PERMISOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE INDUSTRIAS	43
9.2. PERMISOS PARA LA OBTENCIÓN DE LA CALIFICACIÓN TÉCNICA	44
9.3. INFORME SANITARIO	45
9.3.1. Actividad, proceso y establecimiento	45
9.3.2. Instalaciones sanitarias	45
9.3.3. Instalaciones de energía	46
9.3.4. Equipos de vapor, agua caliente y radiación ionizante	46
9.3.5. Operadores calificados	46
9.3.6. Organización de prevención de riesgos para los trabajadores	47
9.4. PERMISO MUNICIPAL DE EDIFICACIÓN	47
9.5. PLAN DE FISCALIZACIÓN	48
<b>10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>50</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>52</b>
<b>Anexo Nº 1: Normas Internacionales</b>	<b>54</b>
<b>Anexo Nº 2: Requisitos para ser Considerado Industria Inofensiva</b>	<b>63</b>

# PRESENTACIÓN

El rápido crecimiento industrial que ha tenido Chile en los últimos años ha traído consigo serios problemas de contaminación ambiental, como la polución de aire, agua y suelo. La Región Metropolitana, por su parte, concentra la mayor parte de la actividad económica del país donde la base industrial es diversa, incluyendo rubros tan variados como alimentos, textiles, productos químicos, plásticos, papel, caucho y metales básicos.

Comprometida con formular y desarrollar una política ambiental tendiente a resolver estos problemas y con el propósito de promocionar un desarrollo industrial sustentable, la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, ha venido desarrollando una serie de instrumentos de apoyo, entre los que se encuentran las Guías Técnicas para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial. El objetivo principal de estas guías, las que serán distribuidas a todas las empresas de cada rubro estudiado, es orientar al sector en materia ambiental, entregándole herramientas de prevención y control de la contaminación. A su vez, pretende contribuir a las actividades de fiscalización que realiza la autoridad, optimizando la calidad de las mismas, si bien las guías en sí no son un instrumento fiscalizable.

Los rubros industriales estudiados han sido seleccionados sobre la base de criterios tales como la representatividad dentro del sector manufacturero y los impactos ambientales que generan.

El presente documento entrega una reseña sobre los impactos ambientales provocados por el rubro de fundiciones. A su vez, identifica las medidas de prevención de los potenciales impactos, los métodos de control de la contaminación (*“end-of-pipe”*) recomendados, los costos asociados y los aspectos relacionados con la seguridad y salud ocupacional. Como marco legal, entrega la información referente a la normativa medioambiental vigente en el país y los procedimientos de obtención de permisos requeridos por la industria.

En la elaboración de las guías han participado consultores nacionales en conjunto con una contraparte técnica conformada por CONAMA, Superintendencia de Servicios Sanitarios, Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente y las Asociaciones de Industriales de cada rubro estudiado. La coordinación general del proyecto estuvo a cargo de CONAMA, Dirección Región Metropolitana.

La presente Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial en la actividad de fundiciones ha sido elaborada sobre la base de un estudio realizado por la empresa consultora AMBAR S.A., y editada gracias a un esfuerzo conjunto de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, y la Asociación Chilena de Seguridad, ACHS.

# 1. INTRODUCCIÓN

La fundición de metales se define como el proceso mediante el cual la materia prima es llevada desde un estado sólido a un estado líquido, por medio del aporte de calor proporcionado por energía eléctrica o combustibles fósiles. A veces son añadidos elementos aleantes que cambian la composición química del metal, dándole de esa manera nuevas propiedades mecánicas. El metal líquido es vertido (“colado”) en moldes. Una vez enfriado el metal, la pieza fundida es extraída del molde y limpiada. El molde es reutilizado, reciclado o destinado a botadores, dependiendo de si se trata de molde permanente o no permanente.

Para efectos del presente estudio, el concepto de fundición se extiende a todas aquellas empresas en las cuales se funde algún metal para obtener una o varias piezas de dimensiones y características bien definidas, siguiendo las especificaciones del proceso descrito anteriormente.

Ello significa que el rubro estudiado corresponde a la división 37 de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (C.I.I.U.), que comprende las industrias metálicas básicas; además de algunos sectores de la división 38 de la C.I.I.U., en particular la clave 381, centrados en la fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo. Se excluyen de este estudio las empresas de tratamientos térmicos y galvanoplastías, debido a que pertenecen a otro rubro industrial.

La Tabla N° 1.1 contiene una descripción detallada de los diferentes códigos utilizados por esta nomenclatura:

**Tabla N° 1.1:  
Divisiones de interés de la C.I.I.U.**

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>37</b>	<b>Industrias Metálicas Básicas</b>
371	<i>Industrias básicas de hierro y acero</i>
372	<i>Industrias básicas de metales no ferrosos</i>
3721	Industrias básicas de cobre
3722	Industrias básicas del aluminio
3729	Industrias básicas de otros metales no ferrosos
<b>38</b>	<b>Fabricación de Productos Metálicos, Maquinarias y Equipos</b>
381	<i>Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo</i>
3811	Fabricación de cuchillos, herramientas, artículos de ferretería
3812	Fabricación de muebles y accesorios metálicos
3813	Fabricación de productos metálicos estructurales

Fuente: ASIMET. Anuario 96-97.

## 1.1. REPRESENTATIVIDAD DEL SECTOR EN LA REGIÓN METROPOLITANA

Según la Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA, elaborada por el INE), en 1994 existían en Chile un total de 66 empresas clasificadas en la división 37, y 848 empresas clasi-

ficadas en la división 38, de las cuales 444 corresponden a organizaciones codificadas como 381. La ocupación media correspondía a 15.679 y a 31.418 personas bajo la clasificación 37 y 381, respectivamente, en tanto que el valor bruto y el valor agregado correspondían a US\$ 5.404 y US\$ 1.675 millones para la clasificación 37 (que incluye la producción de cobre refinado), y de US\$ 1.439 y US\$ 616 millones para la clasificación 381.

**Tabla Nº 1.2:  
La industria metalúrgica-metalmecánica.**

Clave Económica	Cantidad de Establecimientos	Ocupación Media (cantidad de personas)	Valor bruto de producción (millones de US\$)	Valor agregado de la producción (millones de US\$)
37	66	15.679	5.404	1.675
371	35	7.670	837	353
372	31	7.959	4.567	1.322
38	848	66.832	3.464	1.372
381	444	31.418	1.439	616
3 (Industria)	5.082	415.156	33.555	14.327

Fuente: ENIA 1994, Instituto Nacional de Estadísticas.

Cabe mencionar que el cuadro anterior incorpora las fundiciones de concentrado de cobre de Codelco, Enami, Refimet y Huachipato (CAP), razón por la cual se deben tener los cuidados correspondientes al analizar el cuadro.

## 1.2. INDICADORES ECONÓMICOS DEL SECTOR

El índice de producción de la industria manufacturera registra en el mes de octubre de 1996 un aumento de 6,7 % con respecto al nivel alcanzado en octubre de 1995.

Dentro de las agrupaciones con mayor incidencia positiva en el crecimiento del sector, en los últimos 12 meses, figuran:

- Industrias básicas del hierro y acero (CIIU 371) 16.7%
- Fabricación de productos metálicos excepto maquinaria y equipo (CIIU 381) 11.5%

Con respecto a las ventas, sólo es posible mencionar un incremento de 7% de la clave 381, puesto que se desconoce la producción anual del sector.

## 2. ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN

### 2.1. MATERIAS PRIMAS E INSUMOS

En esta guía se considera como materia prima aquellos metales que son ingresados al equipo en el cual se van a fundir, además de los materiales empleados para la elaboración de moldes, tales como arena.

#### ■ Fundición ferrosa

Son materias primas de este proceso todo tipo de piezas de hierro, ya sea las rechazadas por controles de calidad o en buen estado pero en desuso, lo que normalmente se llama chatarra. También son materias primas aquellos desechos de la propia fundición, que son normalmente llamados metales básicos (montantes, conductos de alimentación) o "jitio".

#### ■ Fundición no ferrosa

Se consideran materias primas además de la chatarra y de los metales básicos, las aleaciones del material principal a fundir (bronce, cobre, aluminio, etc.), con frecuencia suministrada en lingotes de elevada pureza.

**Tabla Nº 2.1:**  
**Total de materias primas, nivel nacional.**

Año	Fundiciones ferrosas [ton/año]	Fundiciones no ferrosas [ton/año]	% RM c/r al Nacional	
1992 (PYME)	8.726.252	16.897.635	31.1	8.3
1992 (Grandes fund.)	106.070.280	1.131.985.883		
1993 (PYME)	7.767.210	43.400.370	32.6	8.5
1993 (Grandes fund.)	129.614.593	1.096.895.253		
1994 (PYME)	7.584.861	3.272.584	33.0	8.6
1994 (Grandes fund.)	154.911.627	1.265.351.896		

Fuente: Encuesta Nacional Industrial Anual 1995, INE.

Nuevamente, hay que considerar que el cuadro anterior incorpora fundiciones no ferrosas, como las fundiciones de concentrado de cobre de Codelco, Enami, Refimet, además de la fundición ferrosa de Huachipato (CAP), razón por la cual se deben tener los cuidados correspondientes al analizar el cuadro. El porcentaje de participación de la Región Metropolitana en algo refleja tal situación.

Además de las materias primas, se requieren insumos para el funcionamiento de las fundiciones. Estos insumos son los combustibles, los fundentes, los escoriificantes, las arenas y los aglomerantes, y dependen exclusivamente del proceso. Serán descritos junto al proceso correspondiente.

## 2.2. PROCESOS DE PRODUCCIÓN APLICADOS EN CHILE

Los procesos de producción de una fundición, en general se separan por procesos del tipo continuo o de fabricación de piezas específicas. Es principalmente en este último punto en que toma real importancia el proceso de fundir una pieza, puesto que se pueden fabricar piezas de formas complejas, que resultan imposibles de construir con las herramientas tradicionales de fabricación (tornos, fresas, etc.).

### 2.2.1. Proceso productivo

El proceso de fundición se inicia con la carga al horno de las materias primas (chatarras ferrosas o no ferrosas y los materiales aleantes), donde luego se calientan hasta su punto de fundición, en un horno de fundición especial.

Una vez logrado el material requerido en su forma líquida, se procede a separar la escoria del metal e introducirlo dentro del molde; este proceso es conocido como “colada” o llenado de moldes. Enfriado el producto, se eliminan aquellas partes que son sólo de apoyo y no forman parte de la pieza en sí (canales de alimentación, montantes, rebabas, jito) y se destruye el molde. Un esquema simple del proceso de fundición se muestra en la Figura N° 2.1.

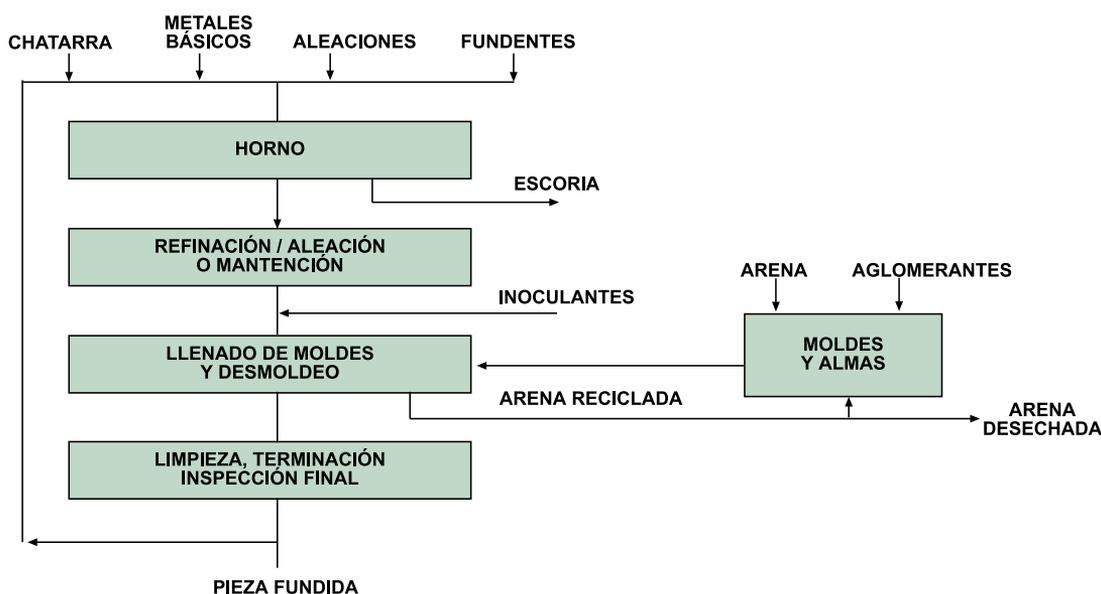


Figura N° 2.1:  
Esquema de funcionamiento de las fundiciones

### ■ Proceso de fabricación de moldes y almas

Los moldes se hacen a partir de patrones (modelos), que tienen la forma del producto terminado, del cual se saca una impresión negativa en cajas llenas de arena con aglomerantes. Las almas llenan los espacios necesarios para obtener orificios al interior del producto final. Una vez cerrado el molde, se endurece por el suministro de calor o por catalizadores, que hacen reaccionar la arcilla de la mezcla. Los moldes pueden ser permanentes (metálicos) o no permanentes, es decir, compuestos de material refractario (arenas), aglomerantes y otros aditivos.

Para la construcción de almas se utilizan los mismos materiales, pero con una menor cantidad de aglomerante, ya que las almas deben ser duras y colapsables. Por lo general, se ocupan arenas nuevas en la construcción de las almas y luego se reciclan en la confección del molde exterior. Una vez saturadas las arenas, éstas son desechadas.

### ■ Proceso de fusión y llenado de moldes

Los procesos de fundición se inician con la fusión del metal y sus compuestos aleantes (opcional) para ser vertidos en los moldes. Cada equipo (horno) tiene un proceso específico de fusión, ya que cada fundición utiliza distintos metales y aleaciones (que poseen distintas temperaturas de fusión).

En el caso de fundiciones no ferrosas, las materias tienen temperaturas de entre 500°C y 1000 °C, por lo que la potencia específica requerida no es muy elevada, pudiendo lograrse con diversos métodos, tales como quemadores a petróleo, resistencia eléctrica, inducción eléctrica, etc. En el caso de fundiciones ferrosas, la temperatura de fusión se eleva considerablemente (1600 °C), por lo que se requiere de altas potencias específicas para lograr fusionar los materiales.

Actualmente, en la Región Metropolitana las fundiciones ferrosas ocupan hornos de inducción, de arco eléctrico y cubilotes. En fundiciones no ferrosas, principalmente se utilizan hornos de crisol, a petróleo, parafina o resistencias eléctricas.

### ■ Proceso de limpieza, terminación e inspección final

Una vez que el metal líquido ha solidificado en el molde, se procede al desmoldeo, destruyendo el molde mediante vibraciones y sacudidas, que permiten la separación de la pieza fundida del molde, almas y arena de moldeo. Generalmente se requiere de un proceso más sofisticado para eliminar por completo la arena de la pieza. El método más utilizado es el granallado que consiste en el lanzamiento de partículas abrasivas a alta velocidad sobre la pieza fundida para retirar las impurezas (arenas, etc.) presentes en la superficie. Separada la mayor parte de la arena, se cortan las partes de metal que no pertenecen a la pieza (canales de alimentación, montantes, etc.). Cuando está limpia la pieza, se realiza la terminación de la misma, ya sea por acabado superficial o por tratamiento térmico adicional, para luego pasar por la inspección final de calidad.

## 2.2.2. Principales equipos

**Hornos de cubilote:** Utilizan el principio de combustión entre las materias primas para lograr la fusión. Son utilizados comúnmente para las fundiciones grises y trabajan a temperaturas de hasta 1.200 °C. Se cargan con metal (chatarra), coque y fundente.

**Hornos de inducción magnética:** Funcionan a base de un campo magnético, producido por la circulación de corriente alterna por las bobinas que envuelven el manto del horno. Este campo magnético cambiante hace que el metal se caliente y se funda.

**Hornos de arco eléctrico:** El principio de funcionamiento de estos equipos consiste en un arco eléctrico que se genera entre electrodos, encontrándose en el medio el material a fundir. Este tipo de hornos produce una elevada temperatura, por lo que es muy utilizado en fundiciones ferrosas y de aceros.

**Hornos de crisol o reverbero:** Consisten en una cuchara de material refractario (crisol), donde es depositado el metal de bajo punto de fusión (no ferrosos) y se coloca en una caja refractaria cerrada. Luego, un quemador o un grupo de resistencias eléctricas se encarga de elevar la temperatura hasta el punto de fusión.

## 2.3. PRODUCTOS DE FUNDICIONES

### 2.3.1. Productos de fundiciones ferrosas

**a) Fundición gris:** Tiene un alto contenido de carbón (>1.9% de carbón), que permite buena fluidez y moldeabilidad. Ejemplos de usos son elementos para agua potable (grifos, tapas de alcantarillas, etc.).

**b) Fundición nodular:** Este material, llamado también fundición dúctil, cuenta con la adición de magnesio al hierro fundido. Ejemplo de usos son engranajes, cigüeñales, cuerpos de bombas, etc.

**c) Fundición de aceros:** Tienen un contenido de carbón más bajo que los fierros fundidos (<1.9% de Carbón). Existen tres tipos de fundiciones de aceros:

■ **Aceros al carbón:** Utilizados para ejes, piñones, eslabones de cadenas, etc.

■ **Aceros de baja aleación:** Utilizados para baldes, cuchillos, puntas, etc.

■ **Aceros de alta aleación:** Utilizados para anillos, rodetes, mandíbulas para chancadores, etc.

### 2.3.2. Productos de fundiciones no ferrosas

Según el metal fundido:

**a) Cobre y sus aleaciones:** Las aleaciones de cobre son principalmente los bronce y los latones.

■ Los bronce contienen cobre (sobre un 80 %), estaño (entre un 5 y un 15 %), plomo y zinc.

■ Los latones contienen cobre (sobre un 50 %), zinc (entre un 15 y un 48 %) y plomo.

Las aplicaciones más comunes son en grifería, llaves para baños, fittings, hélices, etc.

**b) Aluminio y sus aleaciones:** Este metal se importa en su totalidad. Ejemplos de aplicaciones son pistones para motores de combustión interna y para compresores, además de piezas especiales o repuestos a pedido.

**c) Plomo y sus aleaciones:** Proviene casi en su totalidad de las baterías de vehículos que poseen casi 8 kg. de plomo. Se utiliza en fundiciones menores, como tuberías, griferías, etc.

# 3. GENERACIÓN DE RESIDUOS Y ASPECTOS AMBIENTALES

## 3.1. IMPORTANCIA DEL SECTOR EN RELACIÓN A LOS ASPECTOS AMBIENTALES

Dentro del sector de fundiciones, los mayores problemas ambientales son las emisiones atmosféricas y los residuos sólidos.

## 3.2. FUENTES DE GENERACIÓN DE CONTAMINANTES

En la siguiente figura se presentan los aspectos ambientales asociados a cada etapa del proceso productivo.

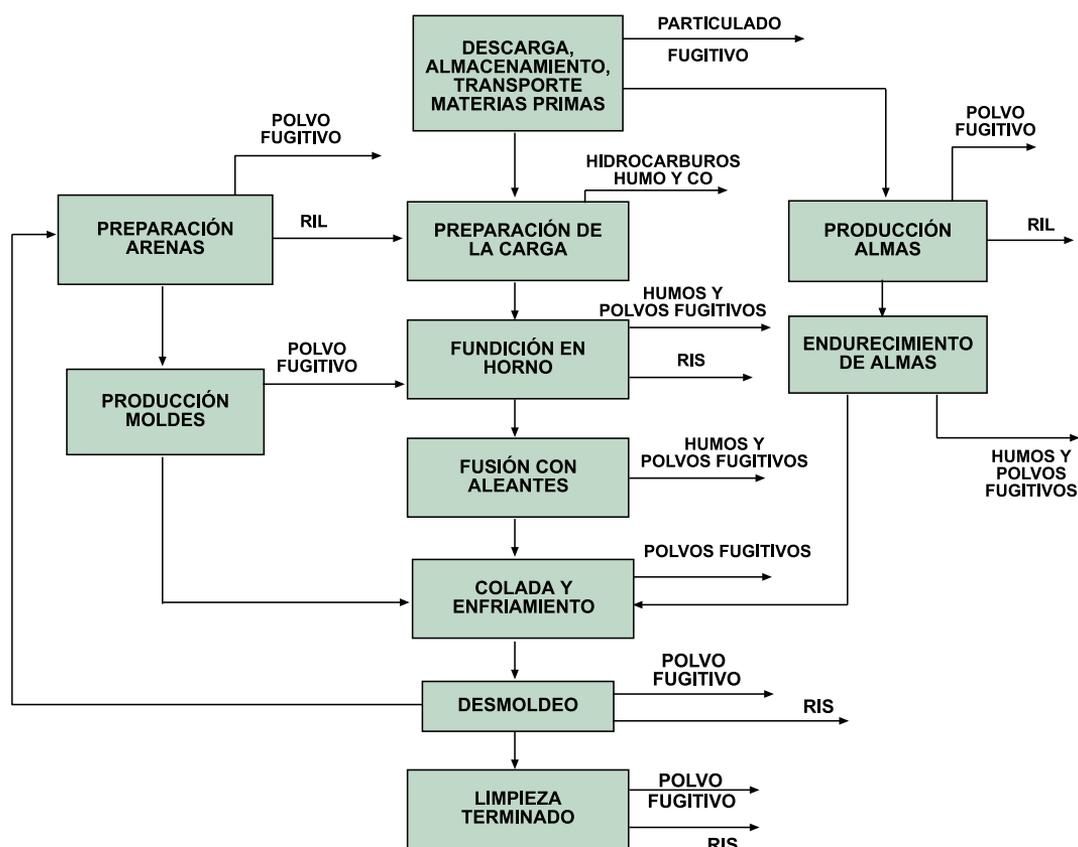


Figura Nº 3.1:  
Aspectos ambientales por etapas

Cabe mencionar que en la mayoría de las etapas del proceso productivo además se genera ruido.

La figura anterior se desarrolla con más detalle en la siguiente tabla.

**Tabla Nº 3.1:  
Contaminantes generados según procesos.**

Proceso	Contaminantes
Tratamiento de materias primas	·Material particulado
Producción de moldes y almas	·Material particulado ·Compuestos orgánicos volátiles ·Residuos líquidos
Carga del horno	·Material particulado ·Compuestos orgánicos volátiles
Fundición y fusión	·Material particulado ·Oxidos de azufre ·Oxidos de nitrógeno ·Monóxido de carbono ·Escoria ·Plomo y humos inorgánicos
Colada	·Material particulado ·Monóxido de carbono
Transporte del material	·Material particulado ·Monóxido de carbono
Llenado de moldes (colada)	·Material particulado ·Compuestos orgánicos volátiles
Enfriamiento	·Material particulado ·Compuestos orgánicos volátiles
Desmoldeo	·Material particulado ·Arenas de descarte
Limpieza de productos fundidos	·Material particulado

Fuente: Visitas realizadas por AMBAR S.A.

### 3.3. CARACTERIZACIÓN DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA

Las emisiones atmosféricas se pueden dividir en “controladas” y “fugitivas”. Las primeras corresponden a aquellas emisiones que se originan en focos estacionarios y pueden ser reducidas mediante sistemas tradicionales de limpieza de gases (campanas de captación y filtros). La contribución de las emisiones fugitivas (no captadas) no es fácilmente cuantificable, pero puede llegar incluso a ser mayor que las emisiones controladas. Se producen principalmente porque la fuente generadora no posee los sistemas adecuados de captación de humos o bien no se encuentra en buen estado de mantención.

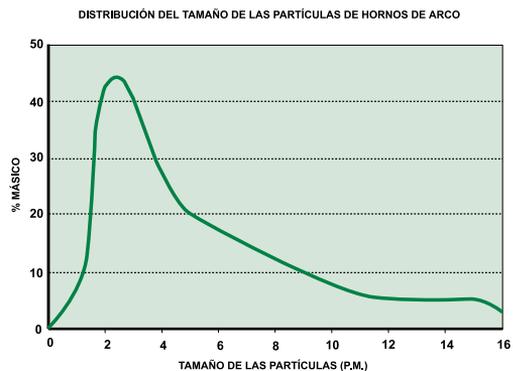
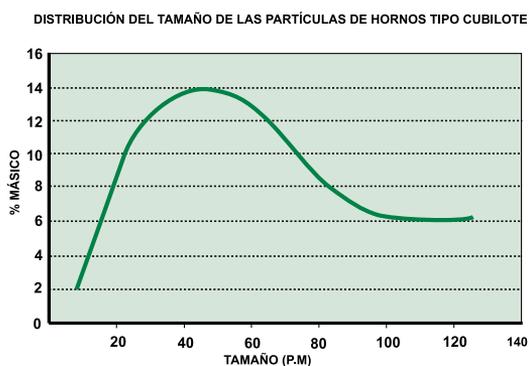
**Tabla N° 3.2:**  
**Participación de las fundiciones en las emisiones de material particulado de la Región Metropolitana.**

<b>Emisiones de material particulado</b>	
Fundiciones Ferrosas	89.91 ton/año
Fundiciones No Ferrosas	72.83 ton/año
<b>Sub-Total</b>	<b>162.74 ton/año</b>
Total Sector Procesos Industriales	1,467 ton/año
Total Fuentes Fijas	3,175 ton/año
<b>Total Región Metropolitana</b>	<b>41,785 ton/año</b>
% c/r al Total Procesos Industriales	11.09 %
% c/r al Total Fuentes Fijas	5.13 %
<b>% c/r al Total Región Metropolitana</b>	<b>0.39 %</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de EDB 97 e Informe PRICA.

Las emisiones del proceso de fusión en hornos son: principalmente material particulado y Monóxido de carbono (CO), los compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>) y pequeñas cantidades de clorhidratos y fluoruros. Las mayores concentraciones de emisiones en hornos ocurren cuando las tapas o puertas son abiertas para cargar, recargar, alear, inyectar oxígeno, remover la escoria y al colar.

Importante dentro de la caracterización de las emisiones es la distribución de tamaño de las partículas para distintos tipos de hornos como se muestra a continuación.



**Gráfico N° 3.1:**  
**Distribución de partículas según tamaño en hornos de cubilote.**

**Gráfico N° 3.2:**  
**Distribución de partículas según tamaño en hornos de arco eléctrico.**

En general, las emisiones a la atmósfera dependen de los metales que se van a fundir y de los hornos (tecnologías) utilizados. A continuación, se presentan los factores de emisión de USEPA para distintos procesos y hornos. Sin embargo, cabe hacer notar que estos factores han sido determinados para la realidad de Estados Unidos (país en el cual las empresas dedicadas a las fundiciones son de mayor envergadura), por lo que es posible que exista algún grado de sesgo en los valores; no obstante, se estima que son válidos de modo referencial.

**Tabla Nº 3.3:**  
**Factores de emisión de material particulado, según equipo utilizado en fundiciones ferrosas.**

Tipo de horno	Sistema de control	Factor de emisión [kg/ton Fe fund.]
<b>Cubilote</b>	Sin control	6.9
Torre de Lavado	1.6	
Lavador Venturi	1.5	
Precipitador electrostático	0.7	
Caja de filtros de mangas	0.3	
Captador húmedo simple	4.0	
Lavador de choque	2.5	
Lavador de alta energía	0.4	
<b>Arco eléctrico</b>	Sin control	6.3
	Caja de Filtros de mangas	0.2
<b>Inducción eléctrica</b>	Sin control	0.5
	Caja de filtros de mangas	0.1
<b>Crisol</b>	Sin control	1.1
	Caja de filtros de mangas	0.1

Fuente: U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)

**TABLA Nº 3.4:**  
**Factores de emisión de material particulado para fundiciones secundarias de Aluminio.**

Operación	Sin Control [kg / ton Al fund.]	Filtros de Mangas [kg / ton Al fund.]	Precipitador Electrostático [kg / ton Al fund.]
Horno de "sudor" Fusión:	7.25	1.65	SD
·Horno crisol	0.95	SD	SD
·Rotatorio	2.15	0.65	0.65
Separación por cloro	500	25	SD

Fuente: USEPA, Factores en kg / ton Al fund.

**Tabla N° 3.5:  
Factores de emisión en fundiciones de cobre, latón y bronce.**

Horno y tipo de carga	Equipo de Control	Particulado Total (PTS)	PM - 10	Plomo
<b>Horno Rotatorio</b>				
Latón y Bronce	No	150	88.3	SD
	PEE	7	SD	SD
Emissiones fugitivas	No	SD	1.3	SD
<b>Horno de Crisol</b>				
Latón y Bronce	No	11	6.2	SD
	PEE	0.5	SD	SD
Emissiones fugitivas	No	SD	0.14	SD
<b>Horno de Arco eléctrico</b>				
Cobre	No	2.5	2.5	SD
	FM	0.5	SD	SD
Latón y Bronce	No	5.5	3.2	SD
	FM	3	SD	SD
<b>Inducción eléctrica</b>				
Cobre	No	3.5	3.5	SD
	FM	0.25	SD	SD
Latón y Bronce	No	10	10	SD
	FM	0.35	SD	SD
Emissiones fugitivas	No	SD	0.04	SD

Fuente: USEPA

Obs: 1.- Expresados en (kg de contaminante)/(Ton de metal procesado)

2.- SD : Sin Datos

3.- PEE : Precipitador Electrostático

4.- FM : Filtros de Mangas

### 3.4. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

Los principales residuos sólidos generados son las arenas de descarte, escoria, escombros (virutas y chatarra) y polvos retenidos en filtros de mangas. En fundiciones no ferrosas además se pueden generar residuos peligrosos y contaminados con plomo, cobre, níquel y zinc, con frecuencia en elevadas concentraciones totales y extraíbles, provenientes principalmente de la escoria. Según recientes estimaciones, el volumen de residuos sólidos provenientes de fundiciones es:

**Tabla N° 3.6:  
Resumen de la cantidad generada de RIS para los rubros 37 y 381.**

<b>Código</b>	<b>Categoría industrial</b>	<b>RIS (ton/año)</b>
371	Industrias del hierro y acero	30.348,00
372	Industrias de metales no Ferrosos	2.531,00
381	Fabricación de productos metálicos excepto maquinaria y equipos	71.816,00
<b>37-381</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>104.696,00</b>
	<b>PARTICIPACIÓN, %</b>	<b>11,15</b>
<b>RM</b>	<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>939.138,00</b>

Fuente: Plan Maestro de Residuos Sólidos (1995).

### 3.5. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS

Los principales procesos que generan este tipo de efluentes contaminantes son:

- Fabricación de moldes (aglomerantes).
- Enfriamiento de moldes y piezas.
- Enfriamiento del horno.

Los RILES no son significativos, en general, salvo que la empresa contenga procesos de tratamientos térmicos o baños químicos.

El proceso de enfriamiento de los hornos consiste en un circuito cerrado y un segundo abierto. El circuito abierto requiere una permanente regeneración del caudal producto de las pérdidas por evaporación. La circulación de las aguas también implica que se vayan concentrando sales producto de la adición de antiincrustantes y antioxidantes, entre otros. Ello significa que debe existir una purga periódica de agua. Estas aguas constituyen los Riles provenientes de las fundiciones, RIL que se puede considerar de bajo grado de contaminación.

### 3.6. MOLESTIAS

Las principales molestias generadas por las empresas de fundiciones son esencialmente ruidos y contaminación atmosférica.

**Tabla N° 3.7:  
Niveles de ruidos típicos en fundiciones.**

<b>Tipo de horno</b>	<b>Ruido máximo (Interior)</b>	<b>Ruido medio (Interior)</b>
Cubilote	67 - 70	63 - 67
Inducción	nd	nd
Arco	100	70
Crisol	89	77

Fuente: Estudio de factibilidad en control de la contaminación, BKH 1992.

La manera en que el ruido generado se propaga hacia el exterior dependerá exclusivamente de las instalaciones de la empresa.

### **3.7. IMPACTOS AMBIENTALES ACTUALES Y POTENCIALES GENERADOS POR EL SECTOR**

Resumiendo los puntos anteriores, los impactos que se presentan por concepto de contaminación ambiental tienen que ver principalmente con los efectos producidos por las emisiones atmosféricas (gases y material particulado) y ruidos.

La emisión de gases a la atmósfera produce alteraciones en el suelo y la vegetación circundante, alteraciones de la infraestructura aledaña y toxicidad en los seres humanos, con efectos adversos respiratorios, oftálmicos, dérmicos y en ocasiones cancerígenos.

Las descargas de RILES normalmente son arrojadas al sistema de alcantarillado (donde a futuro han de ser tratadas por una planta especial) y por lo general cumplen con la norma especificada, debido a que no poseen elevadas concentraciones de contaminantes y los caudales son pequeños. El efecto que producen, en forma global, pasa inadvertido debido a la contaminación de otras fuentes.

Algunos residuos sólidos presentan un cierto nivel de peligrosidad, para lo cual un simple tratamiento de inertización es suficiente. Si estos residuos no son dispuestos en rellenos preparados para tal efecto, pueden afectar los suelos o napas subterráneas. La peligrosidad de los residuos viene dada principalmente por la mezcla que estos sufran con aceites, solventes y metales pesados.

La actividad genera elevados niveles de ruido. El impacto sobre la comunidad, sin embargo, depende de la localización de la empresa, de la infraestructura y de las medidas que ésta adopta para reducir los niveles.

## 4. PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

En este capítulo se trata principalmente la prevención de la contaminación, produciendo de manera más eficiente y limpia mediante cambios o mejoras a los procesos involucrados, sin nuevos sistemas de captación de emisiones. Se analizan las distintas posibilidades de gestión de residuos, ya sea por reciclaje o minimización.

### 4.1. CONTROL DE PROCESOS, EFICIENCIA Y PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

Las fundiciones ferrosas y no ferrosas presentan los mismos procesos básicos en los cuales centrar el estudio de control de procesos:

- Tratamiento de materia primas.
- Preparación de moldes y almas.
- Preparación de la carga del horno.
- Fundición y fusión dentro del horno.
- Colada y enfriamiento.

#### 4.1.1. Control durante proceso de manipulación de materias primas

- Clasificación de las materias primas (chatarra).
- Almacenamiento ordenado.

#### 4.1.2. Control durante proceso de preparación de moldes y almas

- Limpieza del lugar.
- Automatizar el proceso (si es posible).
- Captación de emisiones fugitivas (sistemas colectores).

#### 4.1.3. Control durante proceso de carga del horno

- Limpieza de la chatarra (eliminar pinturas y grasas en seco).
- Apertura del horno, por cortos períodos.

#### 4.1.4. Control durante el proceso de fundición y fusión de metales

- Captación de humos (correcta dimensión de sistema colector).
- Precalentamiento de la chatarra.
- Sistemas de recirculación de aire (hornos con proceso de combustión).

- Sistemas recuperadores de calor.

## 4.2. TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN LIMPIAS

Se aprecia que las áreas de posible aplicación se centran principalmente en el proceso de fundición mismo, ya que los otros procesos aparecen en menor escala.

Tecnologías limpias propiamente tal:

- Implementación de hornos pequeños de alta eficiencia.
- Implementación de hornos de inducción magnética.

Tecnologías limpias para hornos de arco eléctrico:

- Sistemas recuperadores de calor.
- Atmósferas inertes.
- Escorias espumosas.

Tecnologías limpias para hornos con proceso de combustión:

- Cambio a gas natural.
- Sistemas de recirculación de gases.

## 4.3. MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS

Los elementos claves para generar un correcto plan de minimización de residuos están relacionados con la iniciativa, compromiso y participación de todos los que trabajan en las empresas de fundiciones. Fundamentalmente, este tipo de planes involucran cuatro actividades principales:

- Concientización y participación de los trabajadores.
- Mejora en los procedimientos de operación.
- Capacitación de los trabajadores.
- Mejoras en la programación de los procesos.

Un plan de minimización de residuos siempre está acompañado de un plan de reciclaje y recuperación de materiales:

- Implementación de auditorías ambientales y energéticas.
- Definición de una política de reciclaje.
- Control de procesos de fundición.
- Plan de reciclaje de arenas y escorias.
- Plan de minimización en el horno (dosificación de escorificantes y aleantes).

## 4.4. IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

Antes de implementar nuevas tecnologías o un sistema de gestión ambiental es preciso conocer la situación actual de la empresa. Muchas veces no es necesario introducir nuevas tecnologías, un sistema de gestión ambiental o un plan minimizador de residuos, ya que los sistemas actuales pueden ser capaces de lograr los resultados que se esperan. La Norma ISO 14.001 da una pauta para implementar sistemas de gestión ambiental, basada en el mejoramiento continuo. Las actividades a realizar para lograr implementar un sistema de gestión ambiental (con o sin implementación de nuevas tecnologías) son las siguientes:

- 1. Desarrollo de política ambiental:** La alta gerencia debe definir una política ambiental de la empresa.
- 2. Planificación:** Se establecen los objetivos y metas generales de la empresa y se desarrolla la metodología para alcanzarlos.
- 3. Implementación y operación:** Se inician las actividades establecidas en el programa de gestión ambiental.
- 4. Verificación y acción correctiva:** Se revisan las acciones que se han ejecutado, según el programa para determinar su efectividad y eficiencia, y se comparan los resultados con los del plan.
- 5. Revisión de la gerencia y mejoramiento continuo:** Es la etapa de retroalimentación, en la que se adecua a la realidad de cada empresa y se corrigen las deficiencias. Esta revisión se debe documentar y publicar.

Teniendo en cuenta la realidad de las industrias de fundiciones, las actividades tentativas para implementar algunos de estos conceptos son:

- Crear una política ambiental y generar un plan de acción.
- Implementar cursos de capacitación sobre la nueva política ambiental y el plan de acción.
- Desarrollar auditorías ambientales y energéticas.
- Implementar el plan de acción (nuevas tecnologías, plan minimizador de residuos o sistema de gestión ambiental).

Con la implementación de este tipo de sistemas de gestión ambiental se podrían reducir los residuos, por lo que disminuiría el costo de disposición final y se aumentaría la eficiencia del proceso, reduciéndose el costo de insumos.

## 5. MÉTODOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN (END-OF-PIPE)

Este capítulo identifica las tecnologías disponibles para el tratamiento de contaminantes líquidos, sólidos y gaseosos. Dentro de cada descripción de tecnologías se incluyen los equipos necesarios junto con sus eficiencias y condiciones de aplicación.

### 5.1. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTOS DE EFLUENTES LÍQUIDOS

Los procesos para purificar las aguas residuales en la industria de fundiciones comprenden las siguientes etapas:

- Separación de sólidos y líquidos, mediante sedimentación o flotación.
- Deshidratación para reducir la humedad contenida en los sólidos.

El volumen del fango puede reducirse de forma importante mediante la eliminación de parte del agua. El transporte de fangos puede ser uno de los costos más importantes; por ello, un leve aumento de la concentración de sólidos puede producir un ahorro importante.

### 5.2. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTOS DE GASES Y PARTICULADO

#### 5.2.1. Tecnologías de tratamiento de gases

Existen cuatro tecnologías básicas que se emplean en el tratamiento de emisiones gaseosas: absorción, adsorción, incineración y condensación. La elección de la tecnología de control depende de los contaminantes que se deben remover, la eficiencia de remoción, las características del flujo contaminante y especificaciones de terreno.

Normalmente, se mezclan dos o más tecnologías de remoción de gases en un solo equipo, siendo las principales tecnologías de remoción, las de absorción y adsorción, en tanto que las tecnologías de condensación e incineración son usadas principalmente como pretratamientos.

#### ■ Absorción

El proceso convencional de absorción se refiere al contacto íntimo entre una mezcla de gases contaminantes y un líquido tal que uno o más de los componentes del gas se disuelvan en el líquido.

En operaciones de absorción de gases, el equilibrio de interés es aquel que se logra entre el líquido absorbente no volátil (solvente) y un gas soluble (generalmente el contaminante). El soluto es removido de su mezcla en relativamente grandes cantidades, por un flujo no soluble en el líquido.

Generalmente, se utiliza para la remoción de óxidos de azufre, dentro de un sistema captador de partículas tipo Scrubber húmedo, a la salida del horno de fundición.

Las otras tecnologías no son aplicables al caso de las fundiciones de la Región Metropolitana, debido principalmente a que las emisiones gaseosas no tienen un sistema de captación gaseoso adecuado.

## 5.2.2. Tecnologías y equipos para tratamiento de material particulado

### ■ Ciclones y separadores inerciales

Separadores inerciales son ampliamente utilizados para recoger partículas gruesas y de tamaño mediano. Su construcción es simple y la ausencia de partes móviles implica que su costo y mantención son más bajos que otros equipos. El principio general de los separadores inerciales es el cambio de dirección al cual el flujo de gases es forzado. Como los gases cambian de dirección, la inercia de las partículas causa que sigan en la dirección original, separándose del flujo de gases.

En la práctica, suele ser bastante más interesante utilizar un arreglo de varios ciclones de diámetro reducido. Este tipo de equipos reciben el nombre de "Multiciclón" y puede recuperar con buena eficiencia partículas relativamente pequeñas (4 mm y mayores). Estos equipos pueden usarse como preseparadores de otros equipos captadores para mejorar el funcionamiento de estos últimos, o bien en el caso de fundiciones se pueden emplear como medio de control de las emisiones de las plantas de arenas.

### ■ Removedores húmedos

Generalmente se utilizan para captar partículas inferiores a 5 mm (las duchas captan sólo partículas gruesas). Son aptos para trabajar con gases y partículas explosivas o combustibles y/o de alta temperatura y humedad. Para alta eficiencia con partículas pequeñas se requiere alta energía, lo que implica altas caídas de presión. En forma parcial son capaces de remover gases, por lo que puede existir un problema de corrosión, y necesitar materiales especiales.

En el caso de las fundiciones, se ocupan poco porque al captar las partículas generan un problema de residuos líquidos, que eventualmente puede llegar a ser peligroso.

### ■ Precipitadores electrostáticos

Un precipitador electrostático es un equipo de control de material particulado, que utiliza fuerzas eléctricas para mover las partículas fuera del flujo de gases y llevarlas a un colector.

Los precipitadores electrostáticos tienen eficiencias de 99,9% en remoción de partículas del orden de 1 a 10 [  $\mu$ m ]. Sin embargo, para partículas de gran tamaño (20 - 30 [  $\mu$ m ]) la eficiencia baja, por lo que se requiere de preferencia tener un equipo de pretratamiento, tal como un ciclón o multiciclón.

En general, los precipitadores electrostáticos son utilizados para tratar altos caudales de gases, con altas concentraciones de material particulado, ya que el costo de mantención es elevado y sólo con un alto nivel de funcionamiento supera a otras alternativas más económicas e igual de eficientes (lavadores húmedos). En el caso de fundiciones, no se justifica debido a la característica de proceso "batch" en que funcionan.

## ■ Filtros de mangas

Son los sistemas de mayor uso actualmente en la mediana y gran industria, debido principalmente a la eficiencia de recolección y a la simplicidad de funcionamiento. Las partículas de polvo forman una capa porosa en la superficie de la tela, siendo éste el principal medio filtrante.

La selección o verificación de un filtro de mangas, en cuanto a la superficie del medio filtrante, se basa en la “velocidad de filtración”. Esta velocidad también es conocida como “razón Aire-Tela (A/C)”.

Una consideración especial debe observarse respecto del punto de rocío del flujo de gases, el que se ve influido por la presencia de  $\text{SO}_3$  en el flujo, ya que se produce la condensación en las mangas y éstas se tapan no permitiendo el filtrado. Además esta condición de condensación produce corrosión en los metales y más aún si hay presencia de  $\text{SO}_3$ , el que con presencia de humedad se transforma en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ácido sulfúrico), por lo que también perjudicará por ataque ácido a la mayor parte de los materiales usados en las mangas. Por otra parte, debe considerarse el eventual peligro de explosión si se trabaja con gases combustibles (ricos en hidrocarburos) o explosivos (CO proveniente de atmósferas reductoras en fundiciones).

Como guía de referencia se presentan las principales características de los sistemas de captación de material particulado en la Tabla N° 5.1. Adicionalmente, la Tabla N° 5.2 presenta un resumen de las principales ventajas y desventajas de cada sistema.

**Tabla N° 5.1:  
Selección de equipos de tratamiento PM-10.**

Tipo	Tamaño de partículas [ m ]	Caída de Presión [ $\text{H}_2\text{O}$ ]	Eficiencia Esperada [%]	Temp. Máx. [°C]
Ciclón	> 10	1-3	80 (bajo 20 m)	500
Lavador Venturi	> 0,3-1	15-30	90-99 (bajo 5 m)	250+
Filtros de Mangas	> 0,5-1	1-10	95-99 (bajo 5 m)	200-250
Precipitador Electrostático	> 0,01	0,25-0,5	80-99,99 (bajo 5 mm)	500

Fuente: Air Pollution Control Engineering

**Tabla N° 5.2:  
Ventajas y desventajas de sistemas de captación de partículas**

Sistema colector	Ventajas	Desventajas
Ciclones y multiciclones	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Bajo costo de construcción.</li> <li>·Pocos problemas de mantención.</li> <li>·Bajas caídas de presión.</li> <li>·Limitaciones de temperatura y presión impuestas por el material.</li> <li>·Captación y disposición seca.</li> <li>·Bajo requerimiento de espacio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Baja eficiencia de colección con partículas inferiores a 10 mm.</li> <li>·Incapacidad de manejar materiales pegajosos.</li> </ul>
Scrubbers húmedos	<ul style="list-style-type: none"> <li>·No hay fuentes secundarias de polvos.</li> <li>·Bajo requerimiento de espacio.</li> <li>·Capacidad para captar gases y partículas.</li> <li>·Bajo costo de capital.</li> <li>·Capacidad de manejar flujos de altas temperatura y humedad.</li> <li>·Capacidad de captar partículas finas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Crea problemas de RILES.</li> <li>·Producto se capta húmedo.</li> <li>·Problemas de corrosión.</li> <li>·Altos requerimientos de potencias.</li> <li>·Alto costo de mantención.</li> </ul>
Precipitadores electrostáticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Altas eficiencias de captación de partículas.</li> <li>·Captación y disposición seca.</li> <li>·Bajas caídas de presión</li> <li>·Diseñados para funcionamiento continuo.</li> <li>·Bajos costos de operación.</li> <li>·Capacidad de operar a altas temperaturas.</li> <li>·Grandes caudales de gases a tratar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Alta Inversión.</li> <li>·Sensible a cambios en el flujo a tratar (Caudal, temperatura, cargas, concentraciones, etc.)</li> <li>·Gran requerimientos de espacio.</li> <li>·Peligro de explosiones con flujos combustibles.</li> <li>·Producción de ozono en electrodo negativo.</li> <li>·Alto costo de mantención.</li> </ul>
Filtros de Mangas	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Alta eficiencia de captación de partículas finas.</li> <li>·Operación simple.</li> <li>·Insensible a cambios en el condiciones del flujo de gases.</li> <li>·Problemas de corrosión.</li> <li>·No hay peligros de explosión con flujos combustibles.</li> <li>·Son compactos y fáciles de instalar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Sensibles a temperaturas del flujo.</li> <li>·Requerimiento medio de energía (caída de presión).</li> <li>·Vida de las mangas decrece con la temperatura de trabajo.</li> <li>·Altos requerimientos de mantención.</li> </ul>

Fuente: Air Pollution Engineering Manual

### 5.3. ELIMINACIÓN Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

Dentro de las industrias de fundiciones, tanto ferrosas como no ferrosas, la eliminación y disposición de residuos sólidos se ha tratado de hacer de la manera más eficiente posible. Dado que los residuos sólidos son bien conocidos:

- Polvos provenientes de sistemas de tratamiento de particulado.
- Escorias.
- Arenas de descarte.
- Lodos provenientes de tratamiento de residuos líquidos (si existe).

De estos residuos, los que se pueden reciclar, tanto interna como externamente, son las arenas residuales, algunas escorias y los montantes, canales de alimentación y las rebabas.

La tecnología utilizada actualmente trata de devolver los metales que todavía se pueden elaborar al proceso original en el horno. De esta manera, se recuperan materias primas a partir de los residuos. Existen tecnologías de depuración de arenas, recuperación de metales a partir de la escoria, pero son imposibles de aplicar en una sola empresa debido a su alto costo.

Una vez agotadas las opciones de reciclaje, es necesario realizar un análisis químico para determinar la peligrosidad de los residuos y poder definir el lugar de disposición más adecuado.

## 5.4. SISTEMAS FACTIBLES DE CONTROL DE CONTAMINANTES

Los sistemas de control que son factibles de aplicar tanto técnica como económicamente son aquellos con los que se obtiene un beneficio. En este caso, el beneficio es la disminución de multas y la paralización de actividades en períodos de preemergencia ambiental. Por lo tanto, el control de procesos se debe centrar en la contaminación atmosférica, residuos sólidos y ruido principalmente, pasando a segundo plano los residuos líquidos industriales.

Los sistemas de control preventivos presentados en el Capítulo 4 dependen del tipo de proceso, aun así una fuente de control importante es aislar lo más posible cada proceso o subproceso. Con esto es posible aplicar medidas independiente a cada proceso, empezando por mantener un nivel de limpieza óptimo de los equipos.

El principal problema de las fundiciones es controlar las emisiones (tanto controladas como fugitivas) de los procesos de fundición generados en los hornos. Un sistema de control básico que se debe adoptar, con el fin de aumentar la eficiencia global de producción, es la inspección continua. En este punto adquieren real interés los sistemas de gestión ambiental, ya que además de proveer técnicas para esta inspección, se recomiendan procedimientos para mejorar continuamente los procesos; sin embargo, esto requiere de un alto grado de compromiso entre las partes involucradas (operarios, administrativos y gerencia). Con este sistema de inspección se logra detectar a tiempo cualquier falla o mal funcionamiento que pudiera haber.

Para los residuos sólidos, tener en cuenta la cantidad generada es suficiente ayuda como para evaluar cualquier sistema de control. Principalmente la reducción en la generación de residuos sólidos se consigue con un mayor reciclaje de las arenas, debido a que presentan la mayor fuente de residuos generados.

## 6. ASPECTOS FINANCIEROS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN

Si bien el aspecto ambiental tiene un costo al cual los industriales no estaban acostumbrados, este costo se puede absorber por mejoras en los procesos de producción, disminuyendo así los costos de mantención y aumentando la producción. En el mediano plazo, los costos ambientales podrían pasar a convertirse en fuente permanente de reducción de costos de operación.

### 6.1. COSTOS DEL USO DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS

La implementación de tecnologías limpias tiene generalmente un alto costo inicial debido al precio de los equipos involucrados. Sin embargo, el principal beneficio se traduce en un aumento de la productividad, lo que significa nuevos ingresos por aumento de ventas. Las medidas de prevención tienen un costo menor, ya que sólo involucran el uso de sistemas de control en los procesos, mientras que los beneficios son aumentos de eficiencia, que se traducen en disminución de costos y aumento de productividad.

Las tecnologías que mejor se adaptan a las fundiciones de la Región Metropolitana son:

- Cambio de combustible a gas natural (cuando corresponda y sea posible).
- Cambiar a tecnologías de fundición limpias (hornos de inducción).
- Instalar equipos recuperadores de calor.
- Mayor recirculación de arenas.
- Sistemas con recirculación de gases y precalentadores de chatarra.

El uso de tecnologías más limpias no significa que no se requiere de equipos de control. La diferencia radica en que el uso de tecnologías limpias permite utilizar equipos de control de emisiones de menor costo, ya que parte del tratamiento se realiza en el proceso.

El costo de estas tecnologías son dependientes del tamaño de cada industria y por lo tanto no se puede dar un valor preciso para cada una. Sin embargo, cualitativamente se tiene de la experiencia internacional que inicialmente son tecnologías de alta inversión pero de bajos costos de mantención.

### 6.2. COSTOS DE MEDIDAS DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN

En general, para las industrias de fundición, el principal problema es debido a la contaminación atmosférica, por lo cual el presente estudio se centrará en las medidas de control atmosféricas más que en el control de RILES o disposición de residuos sólidos.

Si a pesar de los cambios sufridos por el proceso para mejorar el índice de emisiones, sigue estando por sobre el nivel máximo permitido por la normativa vigente, es necesario recurrir a sistemas externos de control, que traen consigo costos extras referentes a opera-

ción del sistema. Como se ha explicado en los capítulos anteriores, los principales equipos utilizados en el control de material particulado son:

- Filtros de Mangas.
- Multiciclones.
- Scrubers (Lavadores de gases).
- Precipitadores Electrostáticos.

El costo de cada uno de estos equipos está determinado principalmente por el caudal de gases a tratar y por las condiciones propias a la salida de los gases de escape. Como medio de referencia se muestra a continuación una tabla resumen con los costos aproximados de inversión y operación:

**Tabla Nº 6.1:  
Costos de sistemas de tratamiento.**

Equipo	Costos [UF]		
	Inversión (Total)	Operación (anuales)	
Filtro mangas	1.500	2.500	100
Multiciclones	100	700	50
Precipitador ES	2.800	5.000	200
Absorbedor	1.600	2.700	405

Fuente: The environmental control industry, Leung & Klein

## 6.3. ALTERNATIVAS DE FINANCIAMIENTO

Muchas de las fundiciones de la Región Metropolitana deberían realizar inversiones para poder solucionar sus problemas de contaminación, ya sea mejorando su proceso productivo o incorporando sistemas de tratamiento. Estas inversiones también deberán considerar los costos que se incurran por asesorías especializadas para diseñar y evaluar los sistemas de tratamiento.

Para los gastos de asesorías técnicas, se han creado algunos mecanismos de ayuda al financiamiento que pueden ser atractivas para las empresas.

### 6.3.1. Fondo de asistencia técnica (FAT) PYME, SERCOTEC

Este programa de apoyo a la pequeña y mediana empresa (PYME) es para financiar asistencia técnica especializada, orientada a mejorar la gestión y solucionar problemas tecnológicos para elevar la productividad y competitividad como sería el caso de solucionar problemas de contaminación ambiental atmosférica y de efluentes.

El FAT es un subsidio para otorgar asistencia técnica por medio de consultores, que incluye asesoría en planta para realizar diagnósticos y asistencias requeridas por la PYME. Las empresas podrán optar hasta 145 horas de consultoría, con el siguiente sistema de subsidios escalonado decrecientemente:

**Tabla N° 6.2:  
Condiciones de subvención para FAT.**

N° consultorías individuales	Porcentaje de subsidio (%)	
	Ventas anuales mayores a UF 50.000	Ventas anuales menores a UF50.000
1.- Subvención hasta 75 UF	75	85
2.- Subvención hasta 75 UF	70	80
3.- Subvención hasta 75 UF	60	70
4.- Subvención hasta 75 UF	50	60
5.- Subvención hasta 75 UF	40	55
6.- Subvención hasta 75 UF	30	50

Fuente: SERCOTEC

Las empresas que tienen la posibilidad de acceder a este beneficio son aquellas con ventas anuales entre UF 2.400 y UF 100.000, las que pueden acogerse a este sistema de subvención por una sola vez. La subvención máxima de asistencia técnica individual por empresa es de UF 450.

Se puede acceder a este instrumento presentando los antecedentes de la empresa a SERCOTEC, en los períodos de ejecución que serán debidamente publicitados.

Adicionalmente, existen FAT para asistencia técnica colectiva, es decir, para un grupo de empresas sectorial o temáticamente afines. Cada empresario podrá participar en sólo una asistencia colectiva por año. Para cada empresa del grupo se considera una subvención máxima de UF 75.

### **6.3.2. Proyectos de Fomento, PROFO-PYME**

Este es un programa de fomento para la PYME, cuyos fondos de subvención operan a través de SERCOTEC, para ser asignados a los PROFO (Proyectos de Fomento), entendidos como el conjunto de acciones sistemáticas desarrolladas por un grupo de al menos 7 empresas productoras en la Región Metropolitana o 5 en las otras regiones del país, cuyo objetivo sea integrar a sus operaciones técnicas modernas de gestión (ambiental) o nuevas tecnologías a sus procesos productivos o de comercialización propendiendo a la asociatividad empresarial.

Los PROFO beneficiarios de esta subvención deberán estar formados por pequeñas y medianas empresas que demuestren, cada una de ellas, ventas netas anuales entre UF 2.400 y UF 100.000 en el último año (1996).

En el caso de empresas exportadoras, deben demostrar exportaciones individuales que no excedan US\$ 2.500.000 durante 1996, según el informe de Aduanas, en tanto que sus ventas netas anuales en el mercado nacional no pueden superar UF 100.000.

En los PROFO se podrán incorporar, en casos calificados, empresas de menor o mayor nivel de ventas a los señalados, las que en conjunto no deben exceder de un 30 % del total de empresas participantes.

Tanto las empresas beneficiarias como cada uno de sus socios no pueden tener obligaciones morosas con CORFO o SERCOTEC. Será este último el organismo que eleve la solicitud a CORFO (CAFF) y administre los fondos recibidos; eso sí una vez que esté firmado el correspondiente contrato entre los empresarios participantes y el agente.

Con estos recursos se contrata directamente a toda persona vinculada con el proyecto (gerente y/o personal del PROFO) y se financian los gastos propios del PROFO: consultorías, capacitación, seminarios, exposiciones, muestras y contramuestras, pasajes, viáticos, arriendos de oficinas y equipos, servicios básicos, adquisiciones de textos y materiales y equipamiento, estudios, etc.

Durante el funcionamiento de un PROFO y para que se continúe su actividad, los empresarios se deben asociar por escrito en una agrupación con personalidad jurídica, dentro de un plazo acordado con SERCOTEC, aunque no mayor de un año desde la constitución del PROFO (firma del acuerdo). Este es un requisito indispensable para asegurar un segundo año de subvención, si el desempeño ha sido satisfactorio.

Cada PROFO es subvencionado en a los más un 70% del costo total, y por los empresarios en al menos un 30% en el primer año. Este aporte empresarial se incrementará porcentualmente a partir del segundo año. El monto anual de subvención máximo es de 2.250 UF totales, o de 300 UF por empresa. El aporte empresarial será recaudado por SERCOTEC.

El gerente o representante de cada PROFO debe rendir cuenta mensual, documentada y exhaustiva, a SERCOTEC y éste, a su vez, lo hace a la dirección regional de CORFO.

Cada PROFO tiene una duración máxima de 3 años contados desde la fecha de su constitución, aunque su programa de trabajo debe ser aprobado anualmente por el CAFF-CORFO.

### 6.3.3. Leasing

Es una alternativa de financiamiento para bienes de capital. El cliente selecciona el bien requerido y la empresa que realiza el leasing lo compra al contado y así la compañía lo utiliza, cancelando una cuota de arrendamiento periódica, imputable a gastos, por un plazo previamente determinado. Al finalizar este plazo, el cliente tiene la opción de adquirir el bien a un valor residual prefijado.

Las ventajas del leasing es que es una fuente de financiamiento a largo plazo que no ocupa las líneas de crédito vigentes, dejándolas así libres para otros usos. No afecta el nivel de deuda en el sistema financiero. La cuota del leasing es un gasto para efectos tributarios, reduciendo la base imponible cuando el contrato de leasing se efectúa en plazos menores que el período de depreciación.

### 6.3.4. Operaciones de leasing utilizando Cupones de Bonificación a Seguros de Créditos (CUBOS)

Este tipo de leasing no requiere de garantía adicional al bien que se adquiere cuando se opera en CUBOS. Este mecanismo es implementado por CORFO en beneficio de la

pequeña y mediana empresa.

Las condiciones y requisitos para estas operaciones utilizando CUBOS son que las ventas netas anuales se encuentren entre las UF 2.400 y las UF 15.000 (IVA excluido), con un mínimo de 12 meses de antigüedad en el giro y un patrimonio neto de UF 800. En cuanto a las condiciones financieras es que el objetivo es la adquisición de activos productivos. El monto mínimo de la operación es de UF 150 y máximo de UF 3000. La forma de pago es en rentas o cuotas mensuales, anticipadas o vencidas, la primera al mes siguiente de la recepción del bien adquirido. La cuota al contado tendrá un máximo del 15% del monto de operación. La opción de compra es el valor de una cuota mensual que se paga al final del contrato.

## 7. SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Los problemas más comunes provenientes de empresas de fundición, referentes a salud ocupacional, están relacionados con la inhalación de gases y polvos, los cuales afectan las vías respiratorias de los trabajadores. Otro aspecto a considerar es la exposición al calor de los trabajadores en las cercanías del horno.

### 7.1. PRODUCTOS QUÍMICOS PELIGROSOS Y TÓXICOS

- Resinas (producción de moldes de arena y almas).
- Aglomerantes químicos (producción de moldes de arena y almas).
- Catalizadores (producción de moldes de arena y almas).
- Combustibles (sólidos, líquidos o gaseosos).

### 7.2. CONTROL DE RIESGOS

Los mayores riesgos que se han identificado en las empresas de fundiciones son:

- Manejo del metal líquido (colada y transporte).
- Protección al trabajador (ver punto 7.3).
- Posibilidad de alejar al operario de la fuente.
- Automatización de procesos o subprocesos.
- Ventilación interior insuficiente.
- Correcto dimensionamiento de extractores de ventilación.
- Señalización de zonas peligrosas con códigos de colores.

### 7.3. PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES

La protección de los trabajadores siempre está presente, dado el alto grado de peligrosidad de algunas actividades que se producen cerca del horno (inyección de oxígeno por lanzas, o volteo del horno). Los trabajadores disponen como mínimo de:

- Zapatos de seguridad (seguridad en general).
- Pantalones reflectantes (protegen del calor).
- Capa y chaqueta reflectante (protegen del calor).
- Guantes de asbesto (evitan quemaduras).
- Casco (seguridad en general).
- Lentes protectores (protege de la luz fuerte y radiación UV).
- Máscara protectora de gases (protege de gases tóxicos).

## 8. LEGISLACIÓN Y REGULACIONES AMBIENTALES APLICABLES A LA INDUSTRIA

El presente capítulo identifica la totalidad de las normativas ambientales aplicables a la industria, distinguiendo entre normas que regulan la localización, emisiones atmosféricas, descargas líquidas, residuos sólidos, ruido y seguridad y salud ocupacional. Asimismo, se identifican las normas chilenas referentes al tema.

Es necesario establecer como regulación marco y general a todas las distinciones anteriormente señaladas, las siguientes:

### ■ Ley N° 19.300/94

Título : Ley de Bases Generales del Medio Ambiente.  
Repartición : Ministerio Secretaría General de la Presidencia.  
Diario Oficial : 09/03/94

### ■ D.S. N° 30/97

Título : Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.  
Repartición : Ministerio Secretaría General de la Presidencia.  
Diario Oficial : 03/04/97

### 8.1. NORMATIVAS QUE REGULAN LA LOCALIZACIÓN DE LAS INDUSTRIAS

#### ■ D.S. N° 458/76

Título : Aprueba Nueva Ley General de Urbanismo y Construcciones (Art. 62 y 160).  
Repartición : Ministerio de Vivienda y Urbanismo.  
Diario Oficial : 13/04/76

#### ■ D.S. N° 718/77

Título : Crea la Comisión Mixta de Agricultura, Urbanismo, Turismo y Bienes Nacionales.  
Repartición : Ministerio de Vivienda y Urbanismo.  
Diario Oficial : 05/09/77

#### ■ D.S. N° 47/92

Título : Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.  
Repartición : Ministerio de Vivienda y Urbanismo.  
Diario Oficial : 19/05/92

#### ■ Resolución N° 20/94

Título : Aprueba Plan Regulador Metropolitano de Santiago.  
Repartición : Gobierno Regional Metropolitano.  
Diario Oficial : 04/11/94

## 8.2. NORMATIVAS QUE REGULAN LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS

### ■ D.F.L. Nº 725/67

Título : Código Sanitario (Art. 89 Letra a).  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 31/01/68.

### ■ D.S. Nº 144/61

Título : Establece Normas para Evitar Emanaciones o Contaminantes Atmosféricos de Cualquier Naturaleza.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 18/05/61

### ■ D.S. Nº 32/90

Título : Reglamento de Funcionamiento de Fuentes Emisoras de Contaminantes Atmosféricos que Indica en Situaciones de Emergencia de Contaminación Atmosférica.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 24/05/90

### ■ D.S. Nº 322/91

Título : Establece Excesos de Aire Máximos Permitidos para Diferentes Combustibles.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 20/07/91

### ■ D.S. Nº 185/91

Título : Reglamenta el Funcionamiento de Establecimientos Emisores de Anhídrido Sulfuroso, Material Particulado y Arsénico en Todo el Territorio Nacional.  
Repartición : Ministerio de Minería.  
Diario Oficial : 16/01/92

### ■ D.S. Nº 4/92

Título : Establece Norma de Emisión de Material Particulado a Fuentes Estacionarias Puntuales y Grupales Ubicadas en la Región Metropolitana.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 02/03/92

### ■ D.S. Nº 1.905/93

Título : Establece Norma de Emisión de Material Particulado a Calderas de Calefacción que Indica, Ubicadas en la Región Metropolitana.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 18/11/93

**D.S. Nº 1.583/93**

Título : Establece Norma de Emisión de Material Particulado a Fuentes Estacionarias Puntuales que Indica, Ubicadas en la Región Metropolitana.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 26/04/93

**D.S. Nº 2.467/93**

Título : Aprueba Reglamento de Laboratorios de Medición y Análisis de Emisiones Atmosféricas Provenientes de Fuentes Estacionarias.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 18/02/94

**D.S. Nº 812/95**

Título : Complementa Procedimientos de Compensación de Emisiones para Fuentes Estacionarias Puntuales que Indica.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 08/05/95

**D.S. Nº 131/96**

Título : Declaración de Zona Latente y Saturada de la Región Metropolitana.  
Repartición : Ministerio Secretaría General de la Presidencia.  
Diario Oficial : 01/08/96

Nota: A raíz de la declaración de la Región Metropolitana como zona saturada para PM10, PTS, CO, O<sub>3</sub> y latente por NO<sub>2</sub>, la CONAMA ha iniciado la elaboración del correspondiente Plan de Prevención y Descontaminación. Dicho plan implicará la adopción de normas de emisión y otras medidas aplicables a las industrias de la R.M. con el objeto de cumplir con las metas de reducción de emisiones para los contaminantes ya mencionados.

**Resolución Nº 1.215/78: artículos 3, 4 y 5**

Título : Normas Sanitarias Mínimas Destinadas a Prevenir y Controlar la Contaminación Atmosférica.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : No publicada.

**Resolución Nº 15.027/94**

Título : Establece Procedimiento de Declaración de Emisiones para Fuentes Estacionarias que Indica.  
Repartición : Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente.  
Diario Oficial : 16/12/94

Nota: Actualmente, CONAMA se encuentra elaborando una norma de emisión para el contaminante arsénico, de acuerdo con el procedimiento de dictación de normas de la Ley Nº 19.300.

**D.S. Nº 16/98**

Título : Establece Plan de Prevención y Descontaminación atmosférica para la Región Metropolitana.  
Repartición : Ministerio Secretaría General de la Presidencia.  
Diario Oficial : 06/06/98

## 8.3. NORMATIVAS QUE REGULAN LAS DESCARGAS LÍQUIDAS

### ■ Ley N° 3.133/16

Título	:	Neutralización de Residuos Provenientes de Establecimientos Industriales.
Repartición	:	Ministerio de Obras Públicas.
Diario Oficial	:	07/09/16

### ■ D.F.L. N° 725/67

Título	:	Código Sanitario (Art. 69–76).
Repartición	:	Ministerio de Salud.
Diario Oficial	:	31/01/68

### ■ D.F.L. N° 1/90

Título	:	Determina Materias que Requieren Autorización Sanitaria Expresa (Art. 1, N° 22 y 23).
Repartición	:	Ministerio de Salud.
Diario Oficial	:	21/02/90

### ■ D.S. N° 351/93

Título	:	Reglamento para la Neutralización de Residuos Líquidos Industriales a que se Refiere la Ley N° 3.133.
Repartición	:	Ministerio de Obras Públicas.
Diario Oficial	:	23/02/93

### ■ Norma Técnica Provisoria/92

Título	:	Norma técnica relativa a descargas de residuos industriales líquidos.
Repartición	:	Superintendencia de Servicios Sanitarios.
Diario Oficial	:	No publicada.

**Nota:** Actualmente, CONAMA se encuentra elaborando, de acuerdo con el procedimiento de dictación de normas de calidad ambiental y de emisión, determinado por la Ley N° 19.300 y el D.S. N° 93/95 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, una norma de emisión relativa a las descargas de residuos líquidos industriales a aguas superficiales.

### ■ D.S. N° 594/2000

Título	:	Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo (Art. 16, 17, 18, 19, 20).
Repartición	:	Ministerio de Salud.
Diario Oficial	:	29/04/2000

### ■ D.S. N°609/98

Título	:	Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillado.
Repartición	:	Ministerio de Obras Públicas.
Diario Oficial	:	20/07/98

**Nota:** Se encuentra en proceso de revisión en lo referente a los plazos de cumplimiento.

## 8.4. NORMATIVAS APLICABLES A LOS RESIDUOS SÓLIDOS

### ■ D.F.L. Nº 725/67

Título : Código Sanitario (Art. 78–81).  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 31/01/68

### ■ D.F.L. Nº 1.122/81

Título : Código de Aguas (Art. 92).  
Repartición : Ministerio de Justicia.  
Diario Oficial : 29/10/81

### ■ D.F.L. Nº 1/89

Título : Determina Materias que Requieren Autorización Sanitaria Expresa (Art. Nº 1).  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 21/02/90

### ■ D.L. Nº 3.557/80

Título : Establece Disposiciones Sobre Protección Agrícola (Art. 11).  
Repartición : Ministerio de Agricultura.  
Diario Oficial : 09/02/81

### ■ D.S. Nº 594/2000

Título : Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo (Art. 18, 19, 20).  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 29/04/2000

### ■ Resolución Nº 7.077/76

Título : Prohíbe la incineración como método de eliminación de residuos sólidos de origen doméstico e industrial en determinadas comunas de la Región Metropolitana.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : No publicada.

### ■ Resolución Nº 5.081/93

Título : Establece Sistema de Declaración y Seguimiento de Desechos Sólidos Industriales.  
Repartición : Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente.  
Diario Oficial : 18/03/93

**D.S. Nº 685/92**

Título : Establece condiciones relativas al control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación (Convenio de Basilea)  
Repartición : Ministerio de Relaciones Exteriores.  
Diario Oficial : 13/10/92

## 8.5. NORMATIVAS APLICABLES A LOS RUIDOS

**D.F.L. Nº 725/67**

Título : Código Sanitario (Art. 89 Letra b).  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 31/01/68

**D.S. Nº146/98**

Título : Establece Norma de Emisión de Ruidos Molestos Generados por Fuentes Fijas, Elaborada a Partir de la Revisión de la Norma de Emisión Contenida en el Decreto Nº286, de 1984, del Ministerio de Salud.  
Repartición : Ministerio Secretaría General de la Presidencia  
Diario Oficial : 17/4/98

**D.S. Nº 594/2000**

Título : Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 29/04/2000

## 8.6. NORMATIVAS DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

**D.F.L. Nº 725/67**

Título : Código Sanitario (Art. 90–93).  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 31/01/68

**D.F.L. Nº 1/89**

Título : Determina Materias que Requieren Autorización Sanitaria Expresa (Art. 1 Nº44).  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 21/02/90

**Ley Nº 16.744/68**

Título : Accidentes y Enfermedades Profesionales.  
Repartición : Ministerio del Trabajo y Previsión Social.  
Diario Oficial : 01/02/68

**■ D.F.L. N°1/94**

Título : Código del Trabajo (Art. 153–157).  
Repartición : Ministerio del Trabajo y Previsión Social.  
Diario Oficial : 24/01/94

**■ D.S. N° 40/69**

Título : Aprueba Reglamento Sobre Prevención de Riesgos Profesionales.  
Repartición : Ministerio del Trabajo y Previsión Social.  
Diario Oficial : 07/03/69

**■ D.S. N° 54/69**

Título : Aprueba el Reglamento para la Constitución y Funcionamiento de los Comités Paritarios de Higiene y Seguridad.  
Repartición : Ministerio del Trabajo y Previsión Social.  
Diario Oficial : 11/03/69

**■ D.S. N° 20/80**

Título : Modifica D.S. N° 40/69.  
Repartición : Ministerio del Trabajo y Previsión Social.  
Diario Oficial : 05/05/80

**■ Ley N° 18.164/82**

Título : Internación de Ciertos Productos Químicos.  
Repartición : Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción.  
Diario Oficial : 17/09/82

**■ D.S. N° 48/84**

Título : Aprueba Reglamento de Calderas y Generadores de Vapor.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 14/05/84

**■ D.S. N° 133/84**

Título : Reglamento Sobre Autorizaciones para Instalaciones Radiactivas y Equipos Generadores de Radiaciones Ionizantes, Personal que se Desempeñe en ellas u Opere Tales Equipos.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 23/08/84

**■ D.S. N° 3/85**

Título : Aprueba Reglamento de Protección Radiológica de Instalaciones Radiactivas.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 25/04/85

**D.S. Nº 379/85**

Título : Aprueba Reglamento Sobre Requisitos Mínimos de Seguridad para el Almacenamiento y Manipulación de Combustibles Líquidos Derivados del Petróleo Destinados a Consumos Propios.  
Repartición : Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción.  
Diario Oficial : 19/03/86

**D.S. Nº 29/86**

Título : Almacenamiento de Gas Licuado.  
Repartición : Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción.  
Diario Oficial : 06/12/86

**D.S. Nº 50/88**

Título : Modifica D.S. Nº 40/69 que Aprobó el Reglamento Sobre Prevención de Riesgos Profesionales.  
Repartición : Ministerio del Trabajo y Previsión Social.  
Diario Oficial : 21/07/88

**D.S. Nº 594/2000**

Título : Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 29/04/2000

**D.S. Nº 95/95**

Título : Modifica D.S. Nº 40/69 que Aprobó el Reglamento Sobre Prevención de Riesgos Profesionales.  
Repartición : Ministerio del Trabajo y Previsión Social.  
Diario Oficial : 16/09/95

**D.S. Nº 369/96**

Título : Extintores Portátiles.  
Repartición : Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción.  
Diario Oficial : 06/08/96

**D.S. Nº 90/96**

Título : Reglamento de Seguridad para Almacenamiento, Refinación, Transporte y Expendio al Público de Combustibles Líquidos Derivados del Petróleo.  
Repartición : Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción.  
Diario Oficial : 05/08/96

**D.S. Nº 298/94**

Título : Reglamento Sobre el Transporte de Cargas Peligrosas por Calles y Caminos.  
Repartición : Ministerio de Transportes.  
Diario Oficial : 11/02/95

Nota: Este reglamento incorpora las siguientes NCh del INN, haciéndolas obligatorias:

NCh 382/89	:	Sustancias peligrosas, terminología y clasificación general.
Diario Oficial	:	29/11/89
NCh 2.120/89	:	Sustancias peligrosas.
Diario Oficial	:	07/11/89
NCh 2.190/93	:	Sustancias peligrosas. Marcas, etiquetas y rótulos para información del riesgo asociado a la sustancia.
Diario Oficial	:	09/06/93
NCh 2.245/93	:	Hoja de datos de seguridad.
Diario Oficial	:	18/01/94

## 8.7. NORMAS REFERENCIALES DEL INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN

En relación con las normas INN, cabe hacer presente que se trata de normas que han sido estudiadas de acuerdo con un procedimiento consensuado y aprobadas por el Consejo del Instituto Nacional de Normalización, persona jurídica de derecho privado, de carácter fundacional.

El cumplimiento de estas normas (norma, norma chilena y norma oficial) es de carácter voluntario y, por lo tanto, no son susceptibles de fiscalización. Sin embargo, estas normas pueden ser reconocidas por el Ministerio respectivo como normas oficiales de la República de Chile, mediante un Decreto Supremo. Además pueden ser incorporadas a un reglamento técnico adoptado por la autoridad en cuyo caso adquieren el carácter de obligatorias y susceptibles de fiscalización.

### 8.7.1. Normas relativas al agua

#### ■ Norma NCh 1.333/Of. 87

Título	:	Requisitos de Calidad de Agua para Diferentes Usos.
Repartición	:	Instituto Nacional de Normalización.
Diario Oficial	:	22/05/87

### 8.7.2. Normativas de salud y seguridad ocupacional<sup>1</sup>

#### ■ Norma NCh 388/Of. 55 / D.S. 1.314

Título	:	Prevención y Extinción de Incendios en Almacenamiento de Inflamables y Explosivos.
Repartición	:	Ministerio de Economía.
Diario Oficial	:	30/11/55

<sup>1</sup> La repartición y fecha corresponden al Decreto Supremo citado en cada norma y por el cual se oficializó la respectiva Norma Chilena. Para conocer el contenido de cada Norma dirigirse al INN.

**■ Norma NCh 385/Of. 55 / D.S. 954**

Título : Seguridad en el Transporte de Materiales Inflamables y Explosivos.  
Repartición : Ministerio de Economía.  
Diario Oficial : 30/08/55

**■ Norma NCh 387/Of. 55 / D.S. 1.314**

Título : Medidas de Seguridad en el Empleo y Manejo de Materias Primas Inflamables.  
Repartición : Ministerio de Economía.  
Diario Oficial : 30/11/55

**■ Norma NCh 758/Of. 71 / Res. 110**

Título : Sustancias Peligrosas, Almacenamiento de Líquidos Inflamables. Medidas Particulares de Seguridad.  
Repartición : Ministerio de Economía.  
Diario Oficial : 25/08/71

**■ Norma NCh 389/Of. 72 7 D.S. 1.164**

Título : Sustancias Peligrosas. Almacenamiento de Sólidos, Líquidos y Gases Inflamables. Medidas Generales de Seguridad.  
Repartición : Ministerio de Obras Públicas.  
Diario Oficial : 04/11/74

**■ Norma NCh 1.411/4 Of. 78 / D.S. 294**

Título : Prevención de Riesgos. Parte 4: Identificación de Riesgos de Materiales.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 10/11/78

**■ Norma NCh 2.164/Of. 90 / D.S. 16**

Título : Gases Comprimidos, Gases para Uso en la Industria, Uso Médico y Uso Especial. Sistema SI Unidades de Uso Normal.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 30/01/90

**■ Norma NCh 1.377/Of. 90 / D.S. 383**

Título : Gases Comprimidos Cilindros de Gases para uso Industrial. Marcas para la Identificación del Contenido y de los Riesgos Inherentes.  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 16/05/91

## 9. PROCEDIMIENTOS DE OBTENCIÓN DE PERMISOS (AUTORIZACIONES), CONTENIDO Y FISCALIZACIÓN

La legislación actual es bastante clara respecto de la instalación de una industria nueva o de la modificación de una ya existente. Según lo establecido en la Ley N° 19.300 de Bases del Medio Ambiente, y en su respectivo reglamento N° 30/97, éstas deben someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Este sistema, en función de las dimensiones del proyecto y de sus impactos esperados, define si la industria debe presentar un estudio de impacto ambiental o una declaración de impacto ambiental.

La ventaja de este sistema radica en que, habiéndose efectuado la evaluación ambiental, y concluido con una resolución que califica favorablemente el proyecto, ningún organismo del Estado podrá negar los permisos sectoriales por razones de tipo ambiental.

Adicionalmente, para la instalación de una industria, en general, ésta debe obtener los siguientes certificados y permisos:

- Calificación técnica de actividades industriales (Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente).
- Permiso municipal de edificación (Municipalidad).
- Informe sanitario (Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente).
- Patente municipal definitiva (Municipalidad).

Para la obtención de cada uno de estos certificados es necesario previamente conseguir una serie de otros permisos, dependiendo del certificado solicitado.

En el caso de las industrias que iniciaron sus funciones con anterioridad a 1992, éstas deben obtener un certificado de calificación técnica para verificar que están de acuerdo con el Plan Regulador de Santiago. Estas industrias deben ser mucho más cuidadosas en el cumplimiento de las normativas vigentes y aplicables.

En este contexto y sobre la base de la normativa y regularizaciones ambientales desarrolladas en el punto anterior, a continuación se listan los permisos requeridos y las autoridades competentes, atendiendo a su localización, los impactos ambientales generados y los riesgos de accidentes y enfermedades profesionales.

### 9.1. PERMISOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE INDUSTRIAS

**En áreas urbanas con instrumento de ordenamiento territorial**

- Permiso de construcción otorgado por la ***Dirección de Obras Municipales***.

### **Requisitos:**

- Calificación técnica del Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente.

En áreas urbanas sin instrumento de ordenamiento territorial

- Permiso de construcción otorgado por la **Dirección de Obras Municipales**.

### **Requisitos:**

- Calificación técnica del Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente.
- Informe previo de la Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo.

### **En áreas rurales**

- Permiso de construcción otorgado por la **Dirección de Obras Municipales**.

### **Requisitos:**

- Informe del Servicio Agrícola y Ganadero.
- Informe de la Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo.
- Informe de la Comisión Mixta de Agricultura, Vivienda y Urbanismo, Bienes Nacionales y Turismo.

## **9.2. PERMISOS PARA LA OBTENCIÓN DE LA CALIFICACIÓN TÉCNICA**

Para la solicitud de esta calificación técnica, las industrias deben llenar el formulario correspondiente en la oficina de partes del *Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente* (Av. Bulnes 194), acompañándolo de los siguientes antecedentes:

- Plano de planta del local, con distribución de maquinarias y equipos.
- Características básicas de la edificación.
- Memoria técnica de los procesos.
- Diagramas de flujos.
- Anteproyecto de medidas de control de contaminación del aire, manejo de RILES, manejo de RISES y control de ruidos.
- Anteproyecto de medidas de control de riesgos y molestias a la comunidad.

Este certificado se debe solicitar cuando la industria aún no se construye, y sólo se cuenta con el proyecto de ingeniería básica y algunos componentes con ingeniería de detalles.

## 9.3. INFORME SANITARIO

Para la obtención de una evaluación de Informe Sanitario se deben retirar las solicitudes y formularios pertinentes en la oficina del SESMA, llenarlos y devolverlos exclusivamente al SESMA.

Para obtener el informe sanitario, el industrial debe cumplir los siguientes requisitos:

- Solicitud de informe sanitario (SESMA).
- Declaración de capital simple inicial.
- Instructivos exigencias generales y específicas.

Una vez llenada la solicitud, ésta se presenta con los siguientes antecedentes:

- Clasificación de zona, informada por la Municipalidad de la comuna donde se encuentra el establecimiento (Dirección de Obras Municipales).
- Informe de cambio de uso de suelos (Servicio Agrícola Ganadero).
- Pago
- Inspección del local para verificación del cumplimiento de los requisitos.

Se debe cumplir una serie de requisitos y exigencias generales que dicen relación con los requerimientos sanitarios y ambientales básicos de los lugares de trabajo, y es así que al momento de presentar el certificado de informe sanitario, se debe acreditar los siguientes antecedentes, conforme se trate:

### 9.3.1. Actividad, proceso y establecimiento

- Certificado de calificación técnica, previo a la edificación.
- Flujograma de procesos de actividades.
- Plano local, con distribución de máquinas y propiedades colindantes.
- Plano de distribución de maquinarias.
- Certificado de recepción del local.

### 9.3.2. Instalaciones sanitarias

- Plano de agua potable pública.
- Plano de alcantarillado público.

- Comprobante de pago de agua potable y alcantarillado red pública (Empresa Sanitaria).
- Autorización sanitaria (Resolución de recepción), de instalación y funcionamiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado particular, cuando no exista red pública (SESMA).
- Aprobación de proyecto y recepción de obras de sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos. La autoridad competente es la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Los Servicios de Salud solicitarán la *Resolución de Puesta en Explotación* del sistema de tratamiento de residuos industriales líquidos, que otorga la SISS.
- Autorización de aprobación de declaración, transporte/tratamiento y disposición de residuos industriales sólidos (SESMA-PROCEFF).
- Resolución de autorización sanitaria para la instalación y funcionamiento del casino y comedores, para empresas sobre 25 empleados (Programa Control de Alimentos del SESMA).

### 9.3.3. Instalaciones de energía

- Certificados de instaladores registrados en la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, de las instalaciones eléctricas y de gas (Superintendencia de Electricidad y Combustibles).
- Certificados de estanques de combustibles líquidos (Superintendencia de Electricidad y Combustibles).
- Certificados de estanques de gas licuado (Superintendencia de Electricidad y Combustibles).

### 9.3.4. Equipos de vapor, agua caliente y radiación ionizante

- Certificados de revisiones y pruebas de generadores de vapor (SESMA-PROCEFF).
- Certificados y pruebas de autoclaves (SESMA-PROCEFF).
- Informe de muestreos isocinéticos de material particulado de fuentes fijas (calderas, hornos, etc.), cuando corresponda (Empresa Registrada).
- Certificados de operadores de radiaciones ionizantes (Programa Salud Ocupacional del SESMA).

### 9.3.5. Operadores calificados

- Certificados de operadores de calderas industriales y calefacción (Programa Salud Ocupacional del SESMA).

- Licencias de operación generadores de radiaciones ionizantes (Programa Salud Ocupacional del SESMA).
- Licencia de conducción equipos de transporte (Departamento Tránsito Público Municipalidad respectiva).

### 9.3.6. Organización de prevención de riesgos para los trabajadores

- Informe de detección, evaluación y control de riesgos (Mutual de Seguridad y SESMA).
- Oficio de aprobación del Reglamento Interno de Higiene y Seguridad (SESMA).
- Acta de Constitución Comité Paritario de Higiene y Seguridad, sobre 25 trabajadores (Inspección del Trabajo de la Dirección del Trabajo).
- Contrato de experto en Prevención de Riesgos cuando corresponda (sobre 100 trabajadores).
- Comprobante de pago de cotizaciones de seguro, según Ley N° 16.744 (Mutual de Seguridad e Instituto de Normalización Previsional).

El Informe Sanitario tiene carácter de obligatorio para todas las empresas y se debe solicitar una vez iniciadas las actividades de producción de la industria, es decir, cuando la industria *ya se encuentra operativa*. En el caso de tener Informe Sanitario desfavorable, es preciso regularizar la situación (arreglar las falencias) lo más rápido posible y solicitarlo nuevamente, ya que de lo contrario el SESMA tiene la facultad de dar permiso de no funcionamiento, en forma indefinida, hasta que se apruebe el Informe Sanitario.

## 9.4. PERMISO MUNICIPAL DE EDIFICACIÓN

Para solicitar permiso de edificación o modificación física de la planta, la Municipalidad solicitará un listado de documentos que se deberán adjuntar y que tendrán que solicitarse en diferentes reparticiones de servicios:

- Patente Profesional al día
- Informe de calificación de Salud del Ambiente (SESMA o en los Servicios de Salud Jurisdiccionales).
- Factibilidad de Agua Potable (en el servicio sanitario al cual se le deberá presentar un proyecto).
- Certificado de la Superintendencia de Servicios Sanitarios sobre residuos industriales líquidos (SISS).
- Certificado de densidad de carga de combustible (si procede) para verificación de estructuras metálicas, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

- Planos y memoria de Cálculo y Memoria.
- Adjuntar número de trabajadores separados por sexo.
- Plano señalando sistema de prevención de riesgos, salidas de emergencia y extintores.
- En el Plano General de la planta, señalar estacionamientos y áreas verdes.
- En planos de arquitectura verificar e indicar sistema de ventilación.

## 9.5. PLAN DE FISCALIZACIÓN

La fiscalización debe realizarse por personal calificado dependiendo del tipo de industria a fiscalizar. El inspector tiene que llevar un formulario personal en el cual debe tomar nota de los puntos más relevantes que han sido evaluados en la calificación técnica y en el informe sanitario.

Para la evaluación de la visita, es necesario considerar la relevancia de algún posible problema frente al global de la industria, de tal manera de no detener la actividad productiva por un problema menor.

En lo posible, es preciso que el inspector acredite el problema detectado con argumentos y documentación objetiva.

Si el resultado de la visita de fiscalización fuese negativo, se debe primero amonestar la industria y otorgar un plazo razonable para solucionar el problema detectado. Si la infracción prosigue acabado el plazo, entonces la industria queda dispuesta para recibir sanciones más estrictas, tales como multas. Si el problema detectado es de alta relevancia ambiental y afecta a la comunidad vecina, entonces la autoridad tiene la facultad legal para clausurar la industria.

Se ha estimado que los temas más relevantes para el sector fundiciones son los siguientes:

- Condiciones sanitarias
  - Agua potable (suministro y alcantarillado).
  - Baños, casinos (cantidad, higiene y limpieza).
  - Ambiente laboral (contaminantes en el aire del recinto).
- Bodegas calificadas
  - Materiales peligrosos (incombustible, ventilada, alarmas).
  - Materiales no peligrosos (ventilada, antinflama).
- Especificaciones de los equipos
  - Insumos necesarios (consumos).
  - Características (potencias, calores, etc.).
- Equipamiento en buen estado (control de emisiones fugitivas)
  - Mantenciones al día.
- Manejo de materias primas (control de emisiones fugitivas)
  - Tratamiento (limpieza, triturado).
  - Selección (aquellas que minimizan residuos).

- Medidas de seguridad
  - Generales (extintores).
  - Personales (cascos, guantes, etc.).
  - Operadores calificados.
  - Control de riesgo.
  - Uso del reglamento interno.
- Tratamiento y manejo de residuos
  - Sólidos (disposición y transporte).
  - Líquidos (composición y caudales).
  - Gaseosos (concentraciones, caudales).
- Sistemas de control
  - Proceso (medidores, válvulas).
  - Residuos (medidores, transportadores).

Al final de la visita de fiscalización, los datos tomados son evaluados en comparación con aquellos datos declarados al momento de solicitar el informe sanitario. Sobre esta base se determina si la empresa se ha preocupado de su problema ambiental.

## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En general, en las empresas de fundiciones se pueden distinguir los siguientes problemas, en orden de mayor a menor importancia:

- Emisiones a la atmósfera.
- Residuos sólidos.
- Ruidos.
- Residuos líquidos.

De acuerdo al Plan de Descontaminación de la Región Metropolitana, las prioridades apuntan al control de las emisiones de gases y partículas. El costo de cumplir con la normativa dependerá exclusivamente del actual cumplimiento.

Además, se pueden establecer las siguientes conclusiones específicas:

1. Para las emisiones de gases y material particulado se debe considerar el control de las emisiones fugitivas. Estas se determinan sobre la base de la producción, factor de emisión y la concentración límite establecida.
2. La realización de auditorías ambientales y energéticas permite establecer puntos o procesos en los cuales la eficiencia del proceso no sea la óptima, centrándose en aquellas soluciones de optimización específica.
3. El uso de equipos de tratamientos se debe utilizar sólo cuando se hayan agotado las opciones de tratamiento en la fuente generadora.
4. Los sistemas de gestión presentados permiten reducir las emisiones contaminantes y aún más mejorar la eficiencia de producción, con lo que se reducen los costos de operación.
5. Las medidas de referencia que se han propuesto son de especial interés para evitar que la implementación de nuevos sistemas o tecnologías estén mal dimensionados. En este sentido, se ha pretendido establecer parámetros con los cuales verificar los dimensionamientos de los equipos, tales como concentraciones en efluentes y flujos y tamaños de partículas contenidas.
6. Las tecnologías limpias principalmente se refieren a control de procesos o a nuevas disposiciones de los equipos existentes (recuperadores de calor, recirculación de arenas, recirculación de escorias, precalentamiento de la chatarra, etc.).
7. Las empresas en general, no sólo las fundidoras, reconocen que existe una falta de información en cuanto a los permisos sanitarios y ambientales y sus procedimientos de obtención. Luego, en esta guía se ha expuesto en forma clara cuáles son los permisos ambientales requeridos para que una industria funcione y sus procedimientos de obtención.
8. Con el fin de mejorar la situación actual de las fundiciones y evitar multas, se recomienda a las empresas que se acerquen a ASIMET, tanto para regular su situación sanitaria

como para aprovechar las alternativas de financiamiento que se tienen de promoción y de inversión para la pequeña y mediana empresa.

9. Existen plantas de renovación y purificación de arenas, que son factibles de implementar, no para una empresa, sino que para un conjunto de empresas. Es posible desarrollar el estudio de factibilidad a partir de un instrumento financiero FAT colectivo, por ejemplo.
10. Sobre la base de las conclusiones del estudio JICA/CONAMA: "Plan Maestro sobre Manejo de Residuos Sólidos Industriales en la Región Metropolitana" es posible vislumbrar que próximamente se establecerá una norma para el manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos, por lo que se recomienda una regularización de esta situación para evitar multas futuras.
11. Antes de cualquier implementación de medidas específicas de control de procesos es necesario realizar un estudio de factibilidad técnico-económico para evaluar tales medidas aplicadas a una industria específica.
12. Esta guía propone medidas para el control de aquellos procesos en los cuales se ha notado una cierta falencia o bien en aquellos procesos en que actuará una normativa futura (emisiones de gases, residuos sólidos). En este sentido, las medidas son sugeridas y no obligatorias.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

1. Seminario - Taller "Prevención de la contaminación en la pequeña y mediana industria, lineamientos para la prevención de la contaminación en Industrias de fundición y tratamiento térmico de metales". Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos, septiembre 1992.
2. "Estudio de Clasificación y Caracterización de las fuentes estacionarias de la Región Metropolitana denominadas procesos en la base de datos de PROCEFF", Programa de Investigación en Contaminación Ambiental (PRICA), Facultad de ciencias físicas y matemáticas de la Universidad de Chile, 1995. Informe Final.
3. Diagnóstico del nivel tecnológico de fundiciones (Región Metropolitana), Proyecto de fomento del sector. SERCOTEC, junio 1992.
4. Mejoramiento de la información requerida para el control de la contaminación atmosférica de la Región Metropolitana. Proyecto de cooperación Chile - Suecia, junio 1996.
5. Diagnóstico tecnológico de fundiciones y talleres de mecanizado. CORFO, 1989.
6. Estudio del Plan Maestro sobre Manejo de Residuos Sólidos Industriales en la Región Metropolitana. Agencia de cooperación internacional de Japón (JICA), Comisión nacional de medio ambiente (CONAMA), diciembre 1995.
7. Valoración del impacto ambiental de la pequeña y mediana industria en el distrito capital. Asociación colombiana de ingeniería sanitaria y ambiental (ACODAL), 1996.
8. Mejores técnicas disponibles y medio ambiente en la industria primaria de los metales no féreos. Ministerio de obras públicas, transportes y medio ambiente, Dirección general de política ambiental. España 1996.
9. Taller de planificación "La gestión ambiental en las fundiciones". Peter Hauschnik, Lahmeyer International, Frankfurt. Julio 1994.
10. Alternative Fuels, Goodger E.M., McGraw Hill 1987.
11. Hornos de arco para fundiciones de aceros, McGraw Hill, 1995.
12. Hydrocarbon Processing Magazine, noviembre 1996, diciembre 1996.
13. Wärmetechnische Rechnungen für gas-und ölbeheizte Wärmeöfen. Prof. Dr. Ing. habil. T. Senkara, Vulkan-Verlag-Essen 1977.
14. Feasibility study on pollution control in foundries, BKH Consulting Engineers, Dec. 1992.
15. Air Pollution Control Engineering, Noel de Nevers, McGraw Hill 1995.
16. Air Pollution Engineering Manual, A. Buonicore, W.T. Davis, Newcome 1992.

17. Informe Final Planta Piloto Eco-Eficiente (Recuperador de calor para horno cubilote). Convenio Universidad de Antioquía - PROPEL Colombia, octubre 1996.
18. Feasibility study on Pollution Control in Foundries, BKH Consulting Engineers, Diciembre 1992.
19. Compilation Of Air Pollutant Emission Factors, Volume I, Fifth Edition, AP-42 USEPA 1995.
20. Energetische Optimierung des Schmelzprozesses mit mehreren NF-Induktionstiegelöfen, Dr. sc. techn. Roland Hartmann Dr.-Ing. Michael Franke, Giessereitechnik Octubre 1985.
21. Areia de Fundição: Uma Questão Ambiental, Therezinha Maria Novais de Oliveira y Rejane Helena Ribeiro da Costa, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFSC Brasil, 1995.
22. Emisiones de las fundiciones de Hierro - Un Estudio, J. H. Greenberg 1990.
23. Papers provenientes de INTERNET, varios autores 1997.
24. Papers obtenidos de la base de datos de STN International, 1997.
25. Manual del Ingeniero Mecánico Tomo I y II, Eugene Avallone y Theodore Baumeister III, Mc Graw Hill 1995.

**ANEXO N° 1:**

# **NORMAS INTERNACIONALES**

# 1.1 NORMATIVA COLOMBIANA

El Ministerio de Salud de Colombia establece, en primer término, las industrias que deben requerir un permiso de emisión atmosférica en atención a las descargas de humos, gases, vapores, polvos o partículas, provenientes del proceso de producción, de la actividad misma, de la incineración de residuos o de la operación de hornos o calderas.

De las industrias a las que se hace mención, figuran las siguientes:

1. Aquellas industrias, obras, actividades o servicios que cuenten con calderas y hornos cuyo consumo nominal de combustible sea igual o superior a:
  - Carbón mineral: 500 [kg/h].
  - Bagazo de caña: 3.000 [ton/año].
  - 100 [galones/hora] de cualquier combustible líquido (ACPM, Fuel Oil o Combustóleo, Bunker, aceite quemado, crudo).
2. Industrias de fundición de acero con hornos de fundición de más de 2 [ton/día] o más.
3. Industrias de fundición de hierro gris con hornos de fundición de más de 2 [ton/día] o más.
4. Industrias de fundición de cobre y bronce, con hornos de fundición de más de 2 [ton/día o más].
5. Industria de fundición de plomo, con hornos de fundición y recuperación de 100 [kg/día] o más.
6. Industria de fundición de aluminio, con hornos de fundición y recuperación de 2 [ton/día] o más.
7. Industrias siderúrgica, cuando la capacidad del alto horno sea igual o superior a 10 [ton/día].

Una vez identificadas las fuentes que requieren de permiso, se establecen las normas de emisión, separando según tipos especiales de fuentes y otras fuentes. Tal clasificación corresponde a:

- Calderas a base de carbón.
- Fábricas de cemento.
- Industrias metalúrgicas.
- Plantas productoras de asfalto y mezclas asfálticas.
- Otras Industrias.

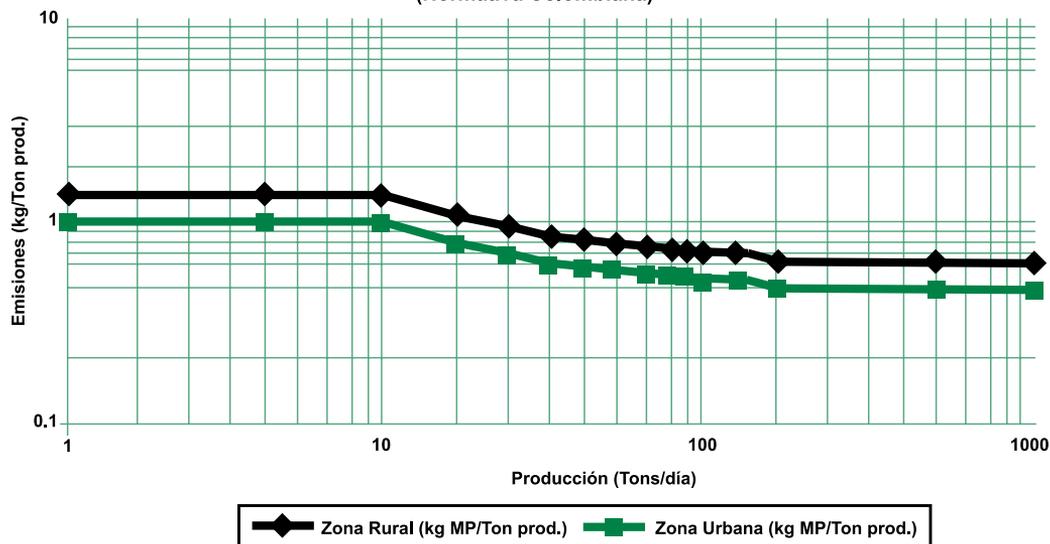
## 1.1.1 Industrias metalúrgicas

Se entiende por industrias metalúrgicas a todas aquellas que producen o trabajan con metales, tales como fundiciones ferrosas, no ferrosas o siderúrgicas.

Se especifica que este límite de emisión es sólo para hornos de arco eléctrico y de inducción, excluyendo a los hornos de cubilote, los cuales caen en la categoría de otras industrias.

### Gráfico N° 1.1: Límites de emisión para industrias metalúrgicas.

Emisiones de Material Particulado de Industrias Metalúrgicas  
(Normativa Colombiana)



Para minimizar los errores, las emisiones se calculan de acuerdo a las siguientes relaciones.

#### Zona rural:

$$E = 1.5 \quad \text{si} \quad P \leq 10$$

$$E = 3.49 \cdot P^{-0.367} \quad \text{si} \quad 10 < P < 200$$

$$E = 0.5 \quad \text{si} \quad P \geq 200$$

#### Zona urbana:

$$E = 1.0 \quad \text{si} \quad P \leq 10$$

$$E = 2.02 \cdot P^{-0.306} \quad \text{si} \quad 10 < P < 200$$

$$E = 0.4 \quad \text{si} \quad P \geq 200$$

Donde:

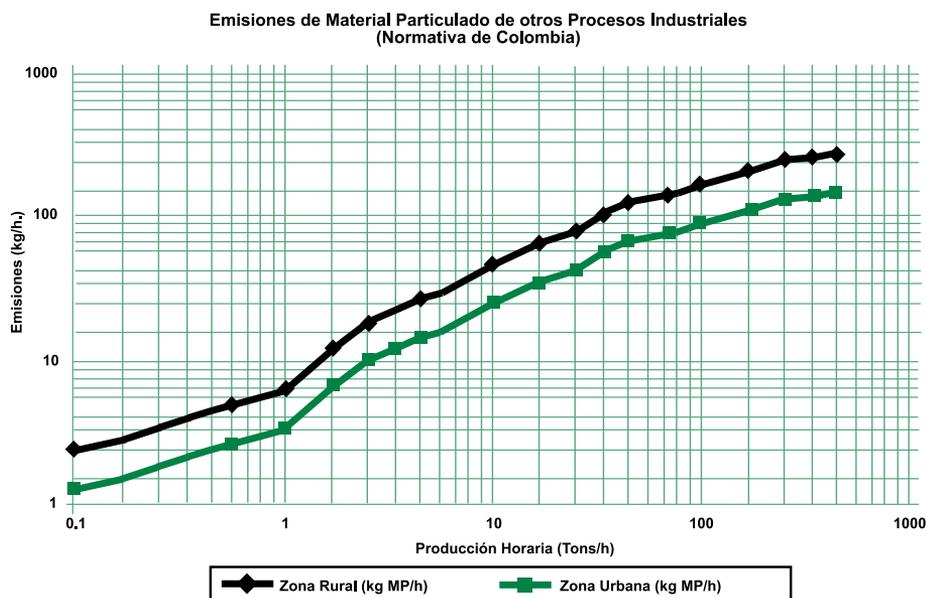
P: Máxima producción diaria, en toneladas

E: Máxima emisión permisible de partículas, en kilos por tonelada producida

## 1.1.2 Otras industrias

Todas aquellas industrias que no sean identificadas como especiales deben cumplir con la norma de emisión de otras Industrias. Los límites se establecen en el siguiente gráfico:

**Gráfico N° 1.2:**  
**Límite de emisión para clasificación de otras industrias.**



La interpolación de los diferentes valores de las normas de emisión a que se refiere el gráfico anterior está señalada por las siguientes relaciones:

### Zona rural:

$E = 3.0$	si	$P < 0.1$
$E = 8 \cdot P^{0.425}$	si	$0.1 \leq P < 1.0$
$E = 8 \cdot P^{0.875}$	si	$1.0 \leq P < 10$
$E = 23.76 \cdot P^{0.4116}$	si	$10 \leq P < 500$

### Zona urbana:

$E = 3.0$	si	$P < 0.1$
$E = 8 \cdot P^{0.425}$	si	$0.1 \leq P < 1.0$
$E = 8 \cdot P^{0.875}$	si	$1.0 \leq P < 10$
$E = 23.76 \cdot P^{0.4116}$	si	$10 \leq P < 500$

### Donde:

P: Máxima producción horaria, en toneladas

E: Máxima emisión permisible de partículas, en kilos por hora.

Con esta clasificación, el Ministerio de Salud de Colombia regula las emisiones de material particulado a la atmósfera. De similar manera, se regula la emisión de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y neblina ácida ( $\text{SO}_3$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

En este caso las emisiones son calculadas en forma directa y, permite un control sobre la base de la producción más que a mediciones externas. Sin embargo, la fiscalización del cumplimiento de estas normas puede llegar a ser sumamente complicado para algunas fuentes, en particular las especiales.

## 1.2 NORMATIVA ALEMANA

La norma alemana para efectos de hornos de fundición establece la concentración de material particulado a evacuar por la chimenea de salida, correspondiendo según el tipo de horno y de extracción a :

### Horno Cubilote:

- Extracción superior: 50 [ $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ ]
- Extracción inferior: 20 [ $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ ]

### Horno de Arco:

- Extracción por cuarto agujero: 50 [ $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ ]

### Horno de Inducción:

- Extracción superior : 50 [ $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ ]

### Horno Reverbero:

- Extracción posterior :50 [ $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ ]

Estas normas tienen rango de validez para todas las empresas que dispongan de tales hornos. La fiscalización de esta medida es simple, pero requiere de mediciones precisas y rigurosas para evitar errores de medición.

Con respecto a emisiones gaseosas, la normativa alemana fija niveles para los compuestos totales de azufre, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno, siendo las concentraciones límites:

- $\text{SO}_2 + \text{SO}_3$  : 800 [ $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ ]
- CO : 1 [ $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ ]
- $\text{NO}_x$  : 500 [ $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ ]

## 1.3 NORMATIVA DE ESPAÑA

Las normas españolas establecen concentraciones límites de material particulado para procesos en general y para algunos tipos de industrias metalúrgicas primarias. Las indus-

trias de fundiciones a las que se hace mención en este estudio corresponden a la industria metalúrgica secundaria, por lo que cae en la clasificación de “procesos en general”, para efectos de la legislación española.

Procesos en general : 150 [mg/m<sup>3</sup>N]

Las emisiones gaseosas son referidas principalmente a niebla sulfúrica y emisiones de SO<sub>2</sub>, siendo las concentraciones límites:

Niebla sulfúrica : 150 [mg/m<sup>3</sup>N]  
SO<sub>2</sub> : 1.400 [mg/m<sup>3</sup>N]

Estos límites son bastante amplios y no tienen regulación referente al caudal de gases que es emitido por la chimenea de evacuación.

## 1.4 NORMATIVA DE ESTADOS UNIDOS

En Estados Unidos, la agencia de protección medio ambiental (EPA) es la encargada de realizar los estudios necesarios para la aprobación de las leyes que luego han de aplicarse. Constantemente la EPA está revalidando las normas de emisiones y los factores de emisión.

En el caso de estas normas, se expresan en función del calor total ingresado, vale decir, el producto entre poder calorífico inferior y consumo total de combustible.

Para calderas y hornos, que funcionan a base de combustibles fósiles, se tiene que para material particulado ninguna fuente puede emitir más de 43 [mg/kJ], y además no debe presentar opacidad superior al 20% por un período mayor a 6 minutos por hora.

Con respecto a las emisiones gaseosas, la EPA ha establecido las siguientes emisiones límites para las calderas y generadores de vapor:

**Tabla N°1.1:  
Emisiones límites de SO<sub>2</sub>**

	<b>Unidad</b>	<b>Máx. Emisión</b>
Combustibles sólidos	mg/kJ	520
Combustibles líquidos	mg/kJ	340

**Tabla N° 1.2:  
Emisiones límites de NO<sub>x</sub>.**

	<b>Unidad</b>	<b>Máx. Emisión</b>
Combustibles gaseosos	mg/kJ	86
Combustibles líquidos · Mezclas Liq. + leña, · Mezclas Gas. + leña	mg/kJ	129
Combustibles sólidos (Excepto Lignitos)	mg/kJ	300
Carbón Lignito	mg/kJ	260
Lignitos quemados en hornos ciclones	mg/kJ	340

## 1.5 NORMATIVA DE HOLANDA

Holanda como país líder en lo referente a cuidado del medio ambiente dispone de un amplio marco sobre el cual se autoriza a cada industria en forma particular su funcionamiento mediante una serie de estrictos estudios de impacto ambiental. Sin embargo, como norma general, se encuentra establecido el límite máximo de concentración de material particulado que se puede emitir una vez que se hayan conseguido todos los permisos, siendo éste de 25 [mg/m<sup>3</sup>N].

En cuanto a emisiones gaseosas, se hace referencia sólo a los compuestos de azufre, tales como el trióxido o el dióxido de azufre, siendo las concentraciones límites:

- SO<sub>2</sub> : 1.200 [mg/m<sup>3</sup>N]
- SO<sub>3</sub> : 100 [mg/m<sup>3</sup>N]

Los compuestos de azufre son los de mayor cuidado, en el aspecto de las industrias de procesos, por lo que sólo se regulan estas emisiones, a menos que se especifique lo contrario en los permisos necesarios.

## 1.6 NORMATIVA DE TAILANDIA

La normativa existente en Tailandia para efectos de emisión de material particulado se divide en distintos procesos:

### ■ Calderas y Hornos:

- Petróleo pesado 300 [mg/m<sup>3</sup>N]
- Carbón 500 [mg/m<sup>3</sup>N]

- Siderúrgicas 400 [mg/m<sup>3</sup>N]

- Plantas de cemento y carburos de calcio 400 [mg/m<sup>3</sup>N]

- Otras Fuentes 500 [mg/m<sup>3</sup>N]

En el ámbito de emisiones gaseosas, los límites de concentraciones para la industria metalúrgica en general son:

- Dióxido de Azufre SO<sub>2</sub> 700 [mg/m<sup>3</sup>N]
- Trióxido de Azufre SO<sub>3</sub> 35 [mg/m<sup>3</sup>N]
- Oxidos de Nitrógeno NO<sub>x</sub> 1.000 [mg/m<sup>3</sup>N]
- Monóxido de Carbono CO 1.000 [mg/m<sup>3</sup>N]

Esta normativa ha demostrado ser la más suave de todas las normas revisadas.

## 1.7 NORMATIVA DE MÉXICO

La regulación ambiental mexicana se encuentra dividida por antigüedad de las fuentes, sobre la base de la fecha de entrada en vigencia de este reglamento (noviembre de 1993), denominándose como equipo existente y equipo de nueva instalación. Los límites máximos permitidos de cada contaminante se encuentran en la siguiente tabla.

Capacidad	Tipo de combustible	PTS (mg/m <sup>3</sup> N)			SO <sub>2</sub> (ppm)			NO <sub>x</sub> (ppm)			CO (ppm)
		Zonas críticas		RP	Zonas críticas		RP	Zonas críticas		RP	
		ZM	CM		otras	ZM		CM	otras		
Hasta 5200 MJ/h	Combustóleo	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	250
	Gasóleo	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	Otros líquidos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
Desde 5201 MJ/h a 43000 MJ/h	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	400
	Líquidos	100	300	400	1100	1650	2600	150	200	270	
Desde 43001 MJ/h a 110000 MJ/h	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	130	150	180	400
	Líquidos	70	250	350	1000	1500	2500	140	180	250	
Mayor que 110000 MJ/h	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	120	140	160	400
	Líquidos	70	200	300	800	1200	2200	130	150	230	
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	100	130	150	400

Fuente: Ministerio de Salud de México.

**Tabla N° 1.4:  
Límites de concentración de contaminantes mexicanos.  
Fuentes Nuevas (Posterior a Nov. 1993)**

Capacidad	Tipo de combustible	PTS (mg/m3N)			SO <sub>2</sub> (ppm)			NO <sub>x</sub> (ppm)			CO (ppm)
		Zonas críticas		RP	Zonas críticas		RP	Zonas críticas		RP	
		ZM	CM		otras	ZM		CM	otras		
Menor que	Cualquier tipo 43000 MJ/h	DEBEN CUMPLIR CON LOS LÍMITES INDICADOS PARA EXISTENTES EN A ZMCM Y CONTAR CON TECNOLOGÍA DE BAJA EMISIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO.									350
Mayor que 43000 MJ/h	Líquidos	50	150	250	400	400	1500	100	140	200	350
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	75	100	130	
	Reparación mayor o reconversión de equipos existentes	DEBEN CUMPLIR CON LOS LÍMITES INDICADOS PARA EXISTENTES EN A ZMCM Y CONTAR CON TECNOLOGÍA DE BAJA EMISIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO.									

Fuente: Ministerio de Salud de México.

## **ANEXO N° 2:**

# **REQUISITOS PARA SER CONSIDERADO INDUSTRIA INOFENSIVA**

## REQUISITOS PARA SER CONSIDERADO COMO INDUSTRIA INOFENSIVA

### A. Requisitos previos para todos los establecimientos industriales

1. Las obras civiles deben tener el certificado de recepción final de la Municipalidad respectiva.
2. Debe haber cumplido con la resolución N° 5.081 de SESMA, del 12 de marzo de 1993 (Declaración disposición de residuos sólidos).
3. Debe cumplir con el Decreto N° 48 de Minsal del 12 de mayo de 1984 (Prevención explosiones y calderas).
4. Almacenamiento de combustible: Debe cumplir con las disposiciones del Decreto N°379 del Ministerio de Economía de 1985 y tal situación está certificada por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.
5. Instalación eléctrica: Debe contar con certificado de un Instalador Autorizado que garantice que la instalación está conforme con las normas sobre la materia.
6. Incendio:
  - a) Debe cumplir con el Decreto Supremo N° 594/2000 del Minsal, y
  - b) Debe disponer de:
    - Croquis de ubicación de extintores y sus características.
    - Determinación y graficación de la cantidad densidad y ubicación de cargas de combustibles.
    - Plan de emergencia (coordinado con Bomberos)
    - Trabajadores con instrucción apropiada, en cuanto a su conducta en caso de siniestro y en normas de prevención.
7. Almacenamiento de productos químicos:

Se debe verificar que se cumple con las siguientes características en el lugar de almacenamiento:

- Piso lavable y adecuado según los productos almacenados.
- Estructura sólida
- Ventilación adecuada.
- Extintores adecuados, bien ubicados y señalizados.
- Demarcación con líneas amarillas del Camino Libre.
- Almacenamiento ordenado sobre pallets o estanterías, segregadas según su clasificación.
- Letreros con clasificación de los productos y riesgos.
- Existencia de un registro, mantenido en un lugar seguro y a disposición del personal

a cargo de la bodega, escrito en idioma español, con todas las hojas de datos de seguridad de los productos almacenados.

- Plan de emergencia en caso de derrame o incendio.
- Sistema de detección de incendio adecuado al caso.
- Sistema de captación de líquidos derramados, adecuados al caso, cuando corresponda.
- Sistema de rociadores automáticos, con polvo químico seco o espuma, cuando corresponda.

8. Material particulado: Debe cumplir con el decreto N° 4 de Minsal de 1992.
9. RILES: Debe cumplir con la Norma Técnica Relativa a Descargas de Residuos Industriales Líquidos, dictada por la Superintendencia de Servicios Sanitarios vigente a la fecha.
10. Informe Sanitario Favorable.
11. Informe del municipio con respecto a localización conforme a uso de suelo previsto en los instrumentos de planificación.

#### **B. Parámetros para la calificación de Industria Inofensiva.**

1. Ruidos: Debe cumplir con las disposiciones del Decreto 286 de Minsal de 1994.
2. Radiaciones: Debe cumplir con las disposiciones del Decreto 133 de Minsal del 22 de Mayo de 1984.
3. Vibraciones: No debe ser perceptible por vecinos inmediatos (DS 144/61 Minsal).
4. Olores: Debe cumplir con lo dispuesto en:
  - Decreto N° 144 Minsal de 1961 y
  - Con el Art. 17 de resolución N° 1215 de Minsal de 1978.
5. Requisitos Viales: Para poder considerar inofensiva una actividad industrial o similar, desde un punto de vista vial, debe cumplirse las condiciones exigidas en la columna de la derecha de la siguiente tabla, según sea el caso:

Superficie útil [m <sup>2</sup> ]	Nº de trabajadores	Estacionamientos requeridos según P.R.M.S.	Condiciones exigidas
< 200	< 10	Cualquiera	Sin exigencia
> 200	≥10	Cualquiera	A1 o A2
≥200	Cualquiera	< 50	(A1 o A2)+(B1 o B2)
≤200	Cualquiera	≥50	(A1 o A2)+(B1 o B2) + (C1 o C2)

**Donde se entiende por A1, A2, B1, B2, C1 y C2 lo siguiente:**

A1: Ancho mínimo entre líneas oficiales de las vías desde las cuales se ingresa o hacia las cuales se egresa, iguales o superiores a 15 metros según instrumento de planificación vigente.

A2: Ancho de pavimento superior (Hormigón, asfalto o adoquín) de la calzada existente en el frente respectivo de las vías de ingreso y egreso, iguales o superiores a 6 metros.

B1: Número y tipo de estacionamientos interiores conforme a la exigencia correspondiente del Plan Regulador Metropolitano de Santiago.

B2: Área de carga y descarga, de evolución y giro, en el interior del predio, según características de los vehículos.

C1: Señalización y demarcación de las vías en el entorno inmediato de los accesos y egresos (cuadra), conforme a lo recomendado en el estudio de impacto vial aprobado.

C2: Canalización de tránsito y semaforización en el entorno inmediato de los accesos y egresos (cuadra), conforme a lo recomendado en el estudio de impacto vial aprobado.

6. Vectores: Será inofensiva cuando acredite seguir programa de control, conforme a lo establecido en el D.S. N°594/2000.

