

---

COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE-REGION METROPOLITANA

---

**GUIA PARA EL CONTROL Y PREVENCION DE LA  
CONTAMINACION INDUSTRIAL**

**FABRICACIÓN DE VIDRIO Y DE PRODUCTOS  
DE VIDRIO**

**SANTIAGO  
DICIEMBRE DE 1999**

## INDICE

## Página

<b>1. INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>2.1 PRODUCCIÓN DE VIDRIO.</b>	<b>4</b>
2.1.1 Tipos de vidrios.	4
2.1.2 Proceso de fabricación	5
2.1.3 Materias primas.	11
<b>2.2 PRODUCCIÓN DE FRITAS.</b>	<b>13</b>
2.2.1 Tipos de fritas.	13
2.2.2 Procesos de producción.	14
2.2.3 Materias primas.	15
<b>3. GENERACIÓN DE CONTAMINACIÓN.</b>	<b>17</b>
<b>3.1 FUENTES DE GENERACIÓN DE CONTAMINANTES.</b>	<b>17</b>
3.1.1 Producción de vidrio	17
3.1.2 Producción de fritas.	20
<b>3.2 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS.</b>	<b>22</b>
<b>3.3 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.</b>	<b>22</b>
<b>3.4 CARACTERIZACIÓN DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA.</b>	<b>23</b>
<b>3.5 MOLESTIAS.</b>	<b>25</b>
<b>4. PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS.</b>	<b>26</b>
<b>4.1 CONTROL DE PROCESOS.</b>	<b>26</b>
<b>4.2 MEJORAS TECNOLÓGICAS.</b>	<b>27</b>
4.2.1 Eficiencias de tecnologías	29
4.2.2 Impacto ambiental.	31
4.2.3 Impacto al proceso.	31
4.2.4 Impacto energético.	32
<b>4.3 SUSTITUCIÓN DE MATERIAS PRIMAS.</b>	<b>33</b>
<b>4.4 IMPLEMENTACION DE SISTEMAS DE GESTION AMBIENTAL</b>	<b>33</b>
<b>5. MÉTODOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN (END-OF-PIPE).</b>	<b>35</b>
<b>5.1 MÉTODOS DE CONTROL DE EMISIONES DE LA ATMÓSFERA.</b>	<b>35</b>
5.1.1 Precipitadores electroestáticos.	36
5.1.2 Filtros de manga.	40
5.1.3 Venturi scrubber.	43
<b>5.2 CONTROL DE RESIDUOS LÍQUIDOS</b>	<b>45</b>
5.2.1 Reducción de la carga de metales pesados	46
<b>5.3 MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS</b>	<b>56</b>
<b>6. PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS</b>	<b>58</b>

<b>6.1 APLICABILIDAD DE PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS</b>	<b>58</b>
6.1.1 Concepto residuo peligroso	58
6.1.2 Procedimiento de determinación de residuos peligrosos	59
<b>6.2 APLICACIÓN AL RUBRO</b>	<b>59</b>
<b>6.3 COMPONENTES PLAN DE MANEJO</b>	<b>61</b>
<b>7. ASPECTOS FINANCIEROS EN LA PREVENCIÓN Y EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN.</b>	<b>63</b>
<b>7.1 COSTOS DE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS DE CONTROL DE EMISIONES DE LA ATMÓSFERA.</b>	<b>63</b>
7.1.1 Control de material particulado.	63
7.1.2 Control de emisiones de NOx.	63
<b>7.2 CONTAMINACIÓN HÍDRICA</b>	<b>65</b>
7.2.1 Indicadores de costo de tecnologías de remoción de metales pesados	65
7.2.2 Indicadores de costo de tecnologías de remoción de sólidos suspendidos	68
7.2.3 Indicadores de costo de tecnologías de deshidratación de lodos	68
<b>8. SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL.</b>	<b>70</b>
8.1 RIESGOS POTENCIALES.	70
8.2 MEDIDAS DE SEGURIDAD E HIGIENE.	71
<b>9. LEGISLACION Y REGULACIONES AMBIENTALES APLICABLES A LA INDUSTRIA</b>	<b>74</b>
9.1 NORMATIVAS QUE REGULAN LA LOCALIZACIÓN DE LAS INDUSTRIAS	74
9.2 NORMATIVAS QUE REGULAN LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS	75
9.3 NORMATIVAS QUE REGULAN LAS DESCARGAS LÍQUIDAS	77
9.4 NORMATIVAS APLICABLES A LOS RESIDUOS SÓLIDOS	78
9.5 NORMATIVAS APLICABLES A LOS RUIDOS	79
9.6 NORMATIVAS DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL	80
9.7 NORMAS REFERENCIALES DEL INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN	83
9.7.1 Normas Relativas al Agua	84
9.7.2 Normativas de Salud y Seguridad Ocupacional	84
<b>10. PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCION DE PERMISOS</b>	<b>86</b>
10.1 CERTIFICADO DE CALIFICACIÓN TÉCNICA	86
10.2 INFORME SANITARIO	87
10.3 PERMISOS MUNICIPALES	88
<b>11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	<b>90</b>
<b>12. REFERENCIAS.</b>	<b>91</b>

## PRESENTACION

La Región Metropolitana de la República de Chile concentra la mayor parte de la actividad económica del país. La base industrial de la región es diversa, incluyendo rubros tan variados como alimentos, textiles, productos químicos, plásticos, papel, caucho y metales básicos. Sin embargo, el rápido crecimiento económico e industrial ha traído consigo serios problemas de contaminación ambiental, como la polución de aire, agua y suelo.

Comprometido 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 entre los que se encuentran las Guías Técnicas para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial. El objetivo principal de estas guías, a ser 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 prioritarios para la Región Metropolitana han sido seleccionados en base a 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 la Fabricación de Vidrio y de Productos de Vidrio. 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 Fabricación de Vidrio y de Productos de Vidrio, ha sido elaborada en base a un estudio realizado por Araucaria Consultores Ltda.

# 1. INTRODUCCIÓN.

Los procesos relacionados con la producción de vidrio estudiados en el presente trabajo corresponden a los incluidos en los números CIIU que se muestran en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1. Subdivisiones CIIU de actividades incluidas en el estudio.**

Código CIIU	Descripción
<b>362</b>	<b>FABRICACIÓN DE VIDRIO Y PRODUCTOS DE VIDRIO</b>
36201	Fabricación de vidrios planos y templados
36202	Fabricación de espejos y cristales
36203	Otros productos de vidrio no clasificados en otra parte
36204	Parabrisas y vidrios de vehículos

CIIU: Código industrial internacional uniforme.

La fabricación de vidrio y de productos de vidrio consta básicamente de cuatro etapas: Mezclado de materias primas y vidrio reciclado, fusión, moldeo y por último un tratamiento de alivio de tensiones. La materia prima utilizada consiste básicamente en: arena silíceo, ceniza de soda, caliza, feldespato y bórax.

Los productos fabricados en este proceso corresponden básicamente a vidrio plano, vidrio para envases y objetos de vidrio prensado y/o soplado.

Otro producto similar al vidrio es la frita usada en el enlozado de productos de hierro y acero como en el vitrificado de porcelanas y cerámicas.

La frita es preparada por fusión de una variedad de materiales en un horno, en general similares a los empleados en la fabricación de vidrio, los cuales son luego rápidamente enfriados al ser mojados.

Según información del INE del año 1998 las categorías en estudio tendrían en el Región Metropolitana la representatividad que se muestra en la tabla 1.2 a y b.

**Tabla 1.2a. Representatividad del sector, empresas con más de 50 empleados**

Establecimientos	Empleados	Obreros
11	561	1.424

Fuente: Instituto nacional de estadísticas, Febrero 1998.

**Tabla 1.2b. Representatividad del sector, empresas con 10 a 49 empleados**

Establecimientos	Empleados	Obreros
4	18	113

Fuente: Instituto nacional de estadísticas, Febrero 1998.

En la tabla 1.3 se muestra el valor total de los productos vendidos por el sector, se observa que la gran mayoría de la producción (97,1 % de los productos vendidos) se comercializa en el mercado interno.

La venta total de productos de vidrio en el año 1996 alcanza aproximadamente los 83.000 millones de pesos. Si se considera que las ventas de todo el sector industrial para el año 1996 alcanzaron los 16.574.108 millones, las ventas de productos de vidrio representarían un 0,5% del total de las ventas del sector industrial.

Observando la relación existente entre el número de empleados y las ventas, se observa que la mayor parte de la producción (95,4% del total) es producida en industria de más de 50 empleados.

**Tabla 1.3 Productos vendidos fabricados por el establecimiento (Millones de Pesos).**

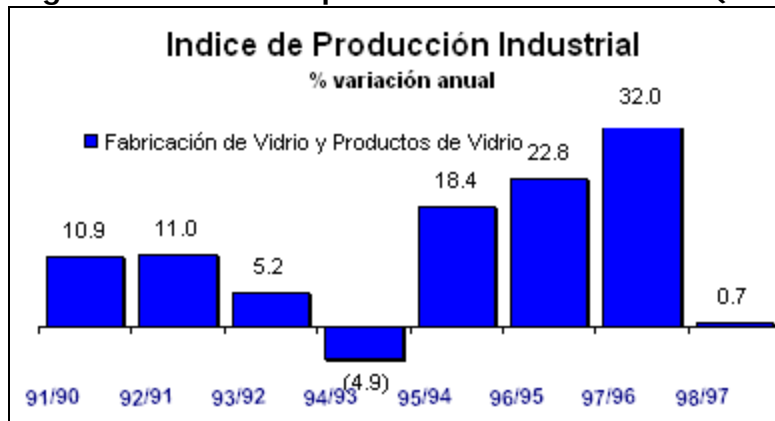
Número de trabajadores en la empresa	Mercado		Total
	Interno	Externo	
1 a 49	3.504	286	3.790
Mas de 50	77.055	2.093	79.149
<b>Total</b>	<b>80.559</b>	<b>2.380</b>	<b>82.939</b>

Fuente: INE; Encuesta nacional industrial anual 1996.

En las Figuras 1.1 y 1.2 se muestra información de la SOFOFA con indicadores económicos del sector para los periodos 1991-1997 y 1996-1999 respectivamente.

En ellos se nota una notable caída de la actividad industrial del sector desde Septiembre de 1997 hasta la fecha, lo que ha provocado la quiebra de unas serie de industrias.

**Figura 1.1 Índice de producción ind. del vidrio (91-97)**



Fuente: Sofofa 1999

Figura 1.2. Índice de producción 12 meses ind. del vidrio.



Fuente: Sofofa 1999

## 2. ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN

### 2.1 PRODUCCIÓN DE VIDRIO.

#### 2.1.1 Tipos de vidrios.

Atendiendo a su volumen de fabricación los vidrios pueden ser clasificados en:

- Comerciales
- Especiales

Los vidrios comerciales son producidos en gran escala, y se usan en la mayoría de las aplicaciones, mientras que los especiales son menos comunes ver tabla 2.1.

**Tabla 2.1 Tipos de vidrio y sus características**

Tipo de vidrio	Nombre	Características
Comerciales	Soda-Cal	Este tipo de vidrio es el más utilizado, pues sus propiedades lo hacen adecuado para su uso con luz visible. Los recipientes hechos de vidrios de soda - cal son virtualmente inertes, no contaminado la materia que contienen ni su sabor. Son poco resistentes al choque térmico.
	Plomo	Utiliza óxido de plomo en lugar de óxidos de calcio, y óxido de potasio en lugar del óxido de sodio, y se conoce comúnmente como cristal al plomo. Los vidrios al plomo tienen un alto índice de refracción y una superficie relativamente blanda, lo cual permite una fácil decoración por esmerilado, corte o tallado.
	Borosilicato	Están compuestos principalmente de sílice (70-80%) y óxido bórico (7-13%) con pequeñas cantidades de álcalis (óxidos de sodio y potasio) y óxido de aluminio. Su principal característica es una buena resistencia a los choques térmicos.
Especiales	Sílice vítreo.	Son vidrios hechos casi exclusivamente de sílice. Son necesarias temperaturas de fusión sobre 1.500°C.
	Vidrios de aluminosilicato.	Contienen cerca de un 20% de óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ), además de óxido de calcio, óxido de magnesio y óxido de boro en cantidades relativamente pequeñas.
	Vidrios de sílice álcali - bario.	Contiene una cantidad mínima de óxidos de plomo, bario o estroncio.
	Vidrios de borato.	Contienen pequeñas cantidades o nada de sílice. Son usados para soldar vidrios, metales o cerámicas, a relativamente, bajas temperaturas.
	Vidrios de fosfato.	Consisten principalmente en mezclas de pentóxido de vanadio ( $V_2O_5$ ) y pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ).

Fuente: British Glass Manufacturers Confederation (BGMC), 1999.



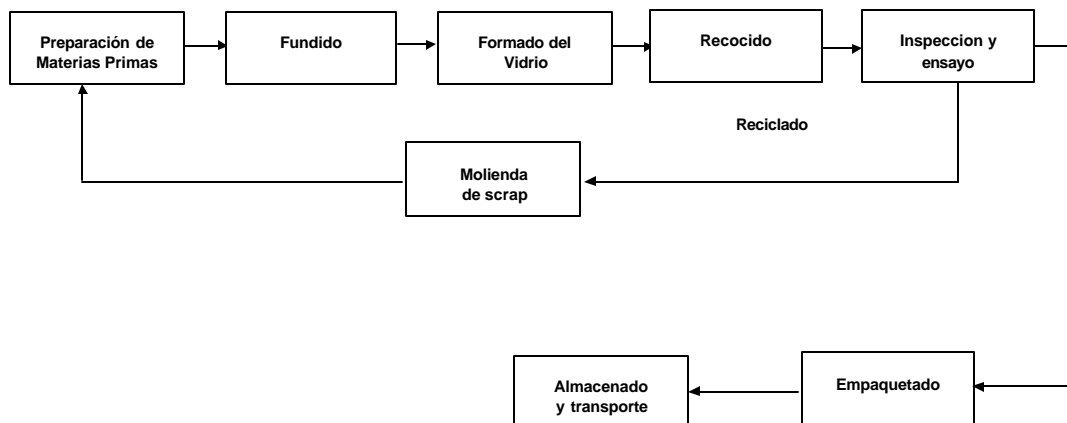
## 2.1.2 Proceso de fabricación

### 2.1.2.1 Fusión

A medida que la arena y la ceniza de soda son recibidas, se muelen y almacenan en depósitos en altura, en espera del momento en que serán transferidas a través de un sistema de alimentación por gravedad a los pesadores y mezcladores. En los mezcladores las materias primas son dosificadas y combinadas con vidrio reciclado para formar una mezcla homogénea, la cual es trasladada por medio de cintas transportadoras a un sistema de almacenamiento de cargas (batch) donde es contenida antes de ser depositada en el alimentador del horno de fundición.

Al entrar la carga al horno a través de los alimentadores, ésta flota en la superficie de la masa de vidrio fundida. Una vez que se funde, pasa al frente del baño y eventualmente fluye a través de la garganta de carga al refinador, donde es acondicionada térmicamente para descargar al proceso de formado. En la figura 2.1 puede verse un esquema del proceso básico.

Figura 2.1. Etapas básicas del proceso de producción de vidrio.



Fuente: EPA 1995.

En esta operación son utilizados tanto hornos de crisol como de tanque o continuos, dependiendo principalmente de la cantidad de vidrio a producir. En general para la producción en menor escala se utilizan hornos de crisol, mientras que en las de mayor se suelen utilizar hornos continuos.

#### **a. Hornos de crisol.**

Los hornos de crisol son estructuras construidas de material refractario, resistente a los ataques del vidrio a cualquier temperatura.

Durante el proceso de fundido en crisol, no hay contacto directo entre el horno y el vidrio y en general en el horno se pueden utilizar varios crisoles a la vez.

Los hornos de crisol son utilizados donde los artículos de vidrio son formados manualmente o por soplado a boca.

Un crisol tiene una vida útil de cerca de 30 ciclos pudiendo producir entre 18 y 21 toneladas de vidrio.

#### **b. Hornos de tanque o continuo.**

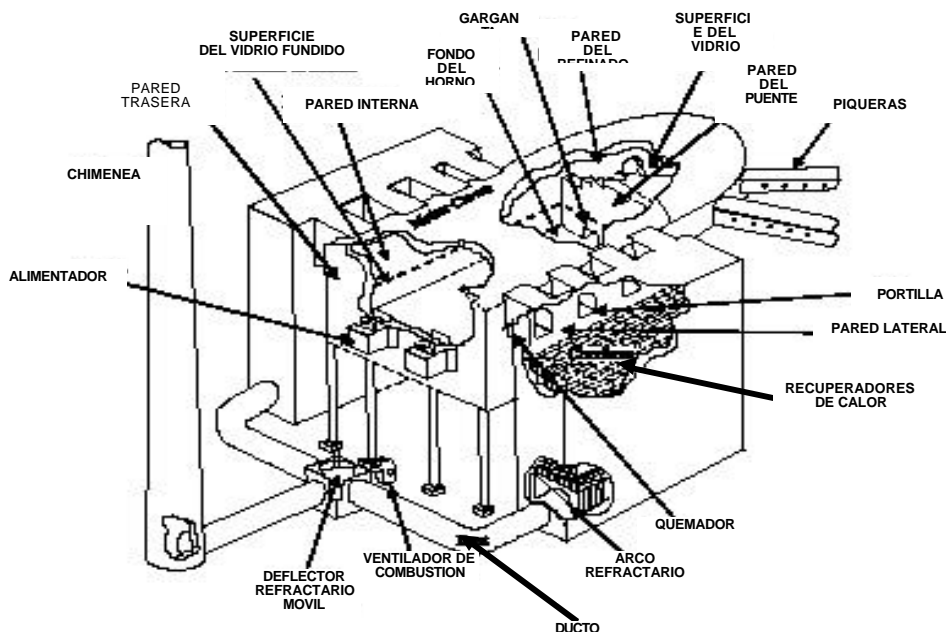
Este tipo de horno es utilizado donde es necesario un flujo continuo de vidrio para la alimentación de máquinas automáticas de formado, por su mayor eficiencia en el uso del combustible es empleado principalmente para la producción en gran escala.

Un horno de tanque consiste de una tina (con una capacidad de hasta 2000 toneladas, construida de un material refractario) y de una estructura donde tiene lugar la combustión.

Para alcanzar altas temperaturas de fusión con economía de combustible, son usados sistemas regenerativos y recuperativos, los cuales utilizan los gases de escape para calentar el aire de combustión que ingresa.

Mientras que en el sistema recuperativo el intercambio de calor entre el aire y los gases de escape es continuo, en el sistema regenerativo los gases de escape son pasados a través de una gran cámara con bloques de refractarios dispuestos de forma tal que permitan el libre flujo de los gases, siendo la obra de ladrillos calentada por éstos. Después de aproximadamente 20 minutos, la dirección de los gases es invertida, pasando entonces el aire de combustión por la masa de ladrillos calientes; aprovechándose de ésta forma el calor recolectado anteriormente para precalentar el aire de combustión (ver figura 2.1).

Figura 2.1 Horno regenerativo continuo.



Fuente: EPA, 1995

Petróleos pesados y gas natural son los combustibles normalmente usados en este tipo de hornos. Sin embargo, ya que el vidrio es un conductor eléctrico a alta temperatura, éste puede ser fundido utilizando electricidad.

En la Tabla 2.2. se muestran las tecnologías empleadas en la Región Metropolitana para la producción de vidrio y fritas. Se puede observar que aunque existe un número equivalente de hornos batch y continuos, el aporte en la producción de los primeros es notablemente mayor con aproximadamente un 93% de la producción total. Estos hornos en general están dedicados a la producción de envases y ampollitas.

**Tabla 2.2 Hornos utilizados en la producción de vidrio y fritas en la Región Metropolitana.**

Tipo de tecnología	Cantidad [unidades]	Participación en la producción [%]
Horno continuo regenerativo	16	80.6
Horno continuo recuperativo	6	14.7
Hornos batch	24	4.7
Totales	46	100

Fuente: Proceff 1997.

### **2.1.2.2 Proceso de formado.**

En general los procesos de formado más comunes, y los cuales están presentes en Chile son los utilizados en la fabricación de los siguientes tipos de productos:

- Envases.
- Vidrios planos.
- Ampolletas.

#### **A. FABRICACION DE ENVASES.**

##### **a. Soplado por boca.**

En la operación de soplado por boca, una varilla de hierro hueca o "caña" es sumergida en un crisol que contiene el vidrio fundido, para recoger una porción en la punta por rotación de la caña. El vidrio tomado, es enfriado a cerca de 1000°C y rotado contra una pieza de hierro para hacer una preforma. La preforma es entonces manipulada para permitir su estiramiento, nuevamente calentada y soplada para que tome una forma semejante a la del artículo que se quiere formar, siendo luego colocada en el interior de un molde de hierro o madera y soplada para darle su forma final.

##### **b. Fabricación semi-automática de botellas.**

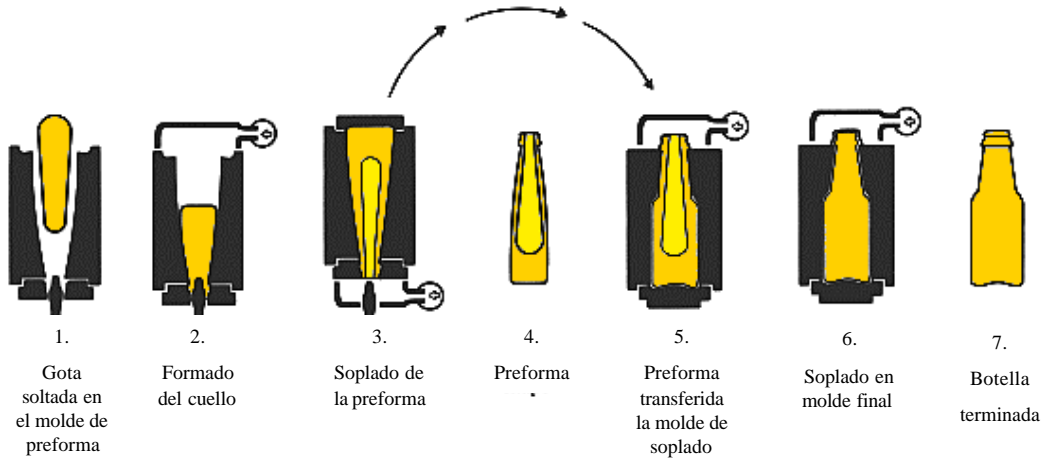
Al igual que en el soplado a boca, la operación se inicia tomando una porción de vidrio en una varilla, la cual se hace fluir en un molde de preformado hasta que ha entrado una cantidad suficiente, en ese momento el vidrio es cortado con unas tijeras.

En el fondo del molde de preforma se encuentra un vástago destinado a realizar una abertura en la pieza, por la cual será soplado aire que dará forma al producto. Una bocanada de aire a presión impulsa el vidrio hacia arriba contra las paredes del molde de preforma y una placa ubicada en la parte superior, hasta formar una preforma, siendo ésta una botella de paredes gruesas y forma vagamente semejante al producto final. La preforma es entonces removida y transferida al molde final, donde nuevamente será soplada hasta adquirir su forma final. El molde es entonces abierto, y la botella removida y colocada en el túnel de recocido.

##### **c. Producción automática de envases.**

El principio de la producción automática es exactamente el mismo que el descrito anteriormente. Dejándose caer el vidrio en el molde como una gota (ver Figura 2.2).

Figura 2.2 Formado automático de botellas.



Fuente: British Glass Manufacturers Confederation (BGMC), 1999.

### c. Vidrio prensado.

Un vástago es utilizado para dar forma a la superficie interior del artículo, al empujar el vidrio contra el molde exterior. El prensado puede ser hecho tanto con la ayuda de un operador, como en forma completamente automática.

## B. FABRICACIÓN DE VIDRIO PLANO.

### a. Procesos de flotación.

En este proceso el vidrio es mantenido en una atmósfera químicamente controlada a una temperatura suficientemente alta (1000 °C) y por un tiempo suficientemente largo como para que el vidrio fundido quede libre de irregularidades y su superficie llegue a ser plana y paralela. En esta condición, el vidrio es vertido sobre una superficie de estaño fundido, que al ser perfectamente plana permite obtener también un producto de estas características

La lámina es enfriada mientras aún avanza a lo largo del estaño fundido, hasta que la superficie alcanza una consistencia suficientemente como para ser transportada sobre una cinta sin que el vidrio quede marcado (aproximadamente 600°C). La lámina entonces pasa a través de un horno túnel de recocido, mientras es transportada camino a su almacenaje, donde computadoras determinarán el corte de la lámina para satisfacer las ordenes de los clientes.

### b. Proceso de rodillo.

El proceso consiste básicamente en hacer pasar un flujo continuo de vidrio fundido a través de rodillos enfriados por agua.

## C. FABRICACIÓN DE AMPOLLETAS.

En la fabricación de ampollitas, un flujo de vidrio fundido fluye desde el horno hacia abajo entre dos rodillos enfriados por agua y sobre la máquina para formado de preformas. Una vez que abandona los rodillos, la pieza es llevada a una plancha con una serie de orificios, formando una fila continua de piezas con agujeros. A medida que las preformas se mueven hacia delante, una cadena continua de sopladores va inyectando aire en las piezas a través del agujero, transformando la ampolla en ampollitas dentro de un molde giratorio, que se abre y cierra alrededor de ellas. Aún moviéndose hacia delante sobre la cinta, la ampollita ya formada abandona el molde, siendo enfriada por un flujo de aire (enfriadores jets) y es entonces removida de la cinta para caer en el cucharón de una mesa giratoria. Este la deposita en una cinta transportadora, que las lleva a través del horno túnel de recocido y posteriormente a los enfriadores de aire, para luego ser inspeccionadas y empacadas. La parte no utilizadas de las preformas pasan directamente al sistema de reciclado siendo nuevamente fundidas.

### **2.1.2.3 Procesos secundarios y de acabado.**

Una vez realizadas las operaciones de formado, los objetos de vidrio obtenidos, pueden pasar a través de una serie de procesos secundarios y de acabados, entre los cuales se cuenta.

- Recocido
- Templado
- Pintado
- Decorado

El primero de ellos, el recocido, es prácticamente obligatorio pues libera al producto de vidrio de tensiones internas del material que causan una extrema fragilidad del producto.

#### **a. Recocido.**

El proceso de recocido es utilizado para liberar las tensiones internas, que se producen debido al rápido e irregular enfriamiento de la pieza de vidrio durante la operación de formado.

Para ello la pieza es vuelta a calentar y luego enfriada lentamente.

La operación se realiza utilizando para ello un horno túnel de recocido, que consiste básicamente en una serie de quemadores dispuestos en un horno largo, a través del cual son llevadas las piezas de vidrio.

#### **b. Templado.**

Es un tratamiento térmico que permite fortalecer la pieza de vidrio.

#### **c. Pintado.**

Además de su función decorativa, el pintado es utilizado para darle al vidrio nuevas propiedades físicas, químicas y ópticas.

#### d. Decorado.

La operación de decorado puede incluir un trabajo mecánico sobre la pieza de vidrio, lo que se hace sacando o añadiendo material de su superficie. También se puede deformar la pieza tras un calentamiento previo.

#### 2.1.3 Materias primas.

La composición del vidrio varía dependiendo de las propiedades que se desean que el vidrio presente, las cuales dependen de la aplicación a la que estará destinado el producto. En la tabla 2.3 se muestran las distintas materias primas utilizadas por la industria del vidrio y fritas en Chile.

**Tabla 2.3 Procentaje de utilización de materias primas en producción de vidrio y fritas.**

Materia Prima	Industria 1	Industria 2	Industria 3	Industria 4	Industria 5	Industria 6
Reciclado	0,0%	60,0%	0,0%	19,6%	0,0%	0,0%
Arena de Cuarzo	46,8%	24,0%	53,2%	39,0%	31,1%	58,0%
Soda	16,4%	7,9%	20,0%	11,2%	0,0%	0,0%
Feldespatos	4,7%	0,5%	4,7%	0,0%	14,2%	3,9%
Borax	7,0%	0,0%	3,3%	0,0%	18,4%	0,0%
Carbonato de calcio	11,7%	5,6%	13,3%	9,9%	0,0%	1,1%
Carbonato de Bario	1,2%	0,0%	0,0%	19,6%	0,0%	0,0%
Carbonato de litio	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Carbonato de sodio	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	19,3%
Nitrato de sodio	7,0%	1,6%	5,3%	0,0%	0,0%	0,0%
Sulfato de sodio	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%	0,9%
Oxido de aluminio	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	2,1%	0,0%
Titanio	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Tipolifosfato	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Oxido de fierro	0,0%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Trioxido de arsénico	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,1%
Selenio	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%	0,0%
Gelvita calumita	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%
Arcilla	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%	0,0%
Arena de zimorrio	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,2%	0,0%
Caolin	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	22,7%	0,0%
Fluorita	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,3%	0,0%
Nitrato de potasio	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,7%	0,0%
Oxido de Cobalto	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%
Oxido de titanio	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,4%	0,0%
Dolomita	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	16,6%

Fuente: Proceff 1997.

En general las materias primas utilizadas en la elaboración de los distintos tipos de vidrios se pueden dividir en tres categorías.

- Principales.
- Refinantes.
- Colorantes.

### 2.1.3.1 Materias primas principales.

Las materias primas principales son las que se utilizan en mayor porcentaje en la producción del vidrio, y la cantidad que se emplee de cada una de ellas depende en general del tipo de vidrio a producir.

En la tabla 2.4 se muestran las composiciones típicas de los vidrios más producidos, mostrándose los porcentajes en peso de los compuestos químicos que los constituyen. Para mayor claridad se han puesto en negrilla los compuestos más utilizados en cada uno de los distintos vidrios.

**Tabla 2.4 Composición de distinto tipo de vidrios [% en peso]**

Compuesto Químico	Vidrio plano	Vidrio de Envases	Cristal	Vidrio de Ampolletas
Si O <sub>2</sub>	<b>72,6</b>	<b>73,0</b>	<b>60,0</b>	<b>67,6</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,7	<b>1,4</b>	0,08	<b>5,0</b>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Ti O <sub>2</sub>	0,22	0,1	0,02	0,15
Ca O	<b>8,6</b>	<b>10,5</b>		<b>9,4</b>
Pb O			<b>24,0</b>	
Mg O	<b>4,1</b>	<b>1,6</b>		
Na <sub>2</sub> O	<b>13,3</b>	<b>12,8</b>	<b>1,0</b>	<b>13,6</b>
K <sub>2</sub> O	0,31	0,4	<b>14,9</b>	<b>1,8</b>
SO <sub>3</sub>	0,17	0,2		0,2
F				<b>4,0</b>

Fuente: Proceff 1997.

### 2.1.3.2 Refinantes.

Los refinantes son productos químicos que se añaden en menor cantidad con la finalidad de eliminar las burbujas contenidas en el vidrio fundido, mejorando así su calidad.

En la tabla 2.5 se muestran los tipos de refinantes comúnmente utilizados y su dosificación máxima.

**Tabla 2.5 Refinantes utilizados en la producción de vidrio**

Agente refinante	Dosificación máxima [kg/100kg de vidrio]
Sulfatos (ej. Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) y sulfitos	1.0
Cloruros (ej. NaCl)	1.5
Arsénico (ej. As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.2
Nitrato (ej. NaNO <sub>3</sub> )	1.5
Oxido de Antimonio (Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.4
Oxido de Cerio (CeO <sub>2</sub> )	0.4

Fuente: Proceff 1997.

### 2.1.3.3 Colorantes.

Son sustancias empleadas para dar coloración al vidrio, o para volverlo incoloro anulando la tonalidad verde, que le es natural.

En la tabla 2.6 se muestran los distintos compuestos utilizados en la coloración del vidrio.



**Tabla.2.6 Elementos utilizados en la coloración del vidrio**

<b>Compuesto químico</b>	<b>Coloración</b>
Oxidos de Hierro	Verde
Oxidos de Cromo	Verde, café, azul
Sulfito de fierro	Amarillo a café-rojo
Oxidos de Níquel	Gris a verde
Oxidos de Manganeso	Violeta
Oxidos de Cobalto	Azul a violeta
Oxidos de Cobre	Rojo – azul a verde
Selenio	Naranja a rojo
Sulfito de Cadmio	Amarillo
Oro	Rubi a rojo
Plata	Amarillo
Oxidos de Manganeso / Sodio – Selenio + Oxido de Cobalto	Incoloro

Fuente: Proceff 1997.

## **2.2 PRODUCCIÓN DE FRITAS.**

La frita es una mezcla homogénea de materiales inorgánicos cuya composición y forma de fabricación es similar a la del vidrio. Son utilizadas principalmente en el enlozado de productos de hierro y acero, así como en el vitrificado de cerámicas y porcelanas.

### **2.2.1 Tipos de fritas.**

Según el sustrato donde será aplicada en general existen dos tipos de fritas:

- Frita para metal.
- Fritas para cerámica.

En el enlozado de metales se utilizan a su vez dos tipos de fritas, una denominada base o fúndente que está en contacto directo con el metal y otra exterior o cubierta. La frita fúndente contiene una mayor cantidad de óxidos los que facilitan su adherencia al metal, dándole sin embargo una coloración oscura y poco decorativa, la que obliga a la aplicación de la frita de cubierta que incorpora colorantes con fines decorativos.

Las fritas cerámicas son aplicadas en una base cerámica y su composición es similar a la frita cubierta con la diferencia de que esta última suele incluir óxido de titanio.

Debido a que la frita es un vidrio y por lo tanto insoluble en agua, para permitir su aplicación como suspensión se le agregan aditivos los que consisten básicamente en arcillas. Esta mezcla es conocida como esmalte.

## 2.2.2 Procesos de producción.

Las etapas de mezclado de materias primas y de fusión en horno son iguales a las de producción de vidrio.

Una vez completada la etapa de fusión, el material es vertido directamente en un estanque con agua o vertido haciendo pasar el material a través de rodillos enfriados por agua, para limitar así su espesor. Esta operación se denomina fritado, y en ella el material se rompe en pequeñas partículas de vidrio llamadas fritas debido al choque térmico.

Después del mojado las fritas pasan a una etapa de secado y después a una de molienda, pudiendo ser ésta húmeda o seca.

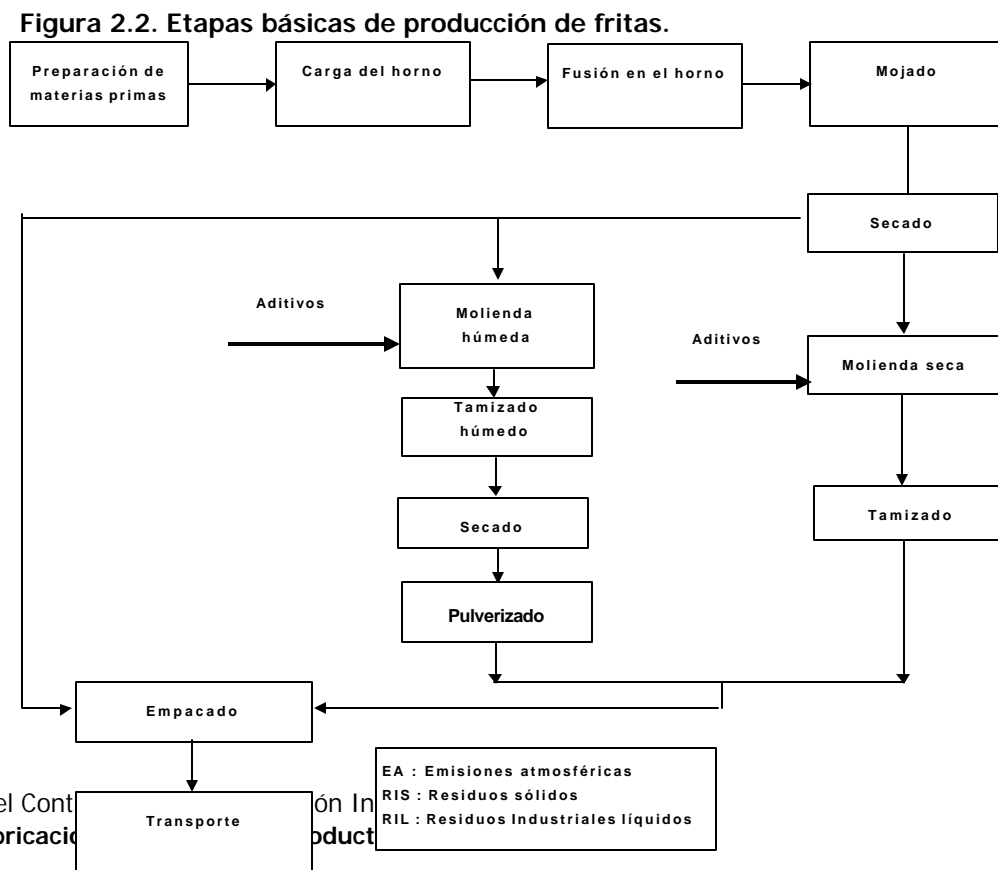
La molienda húmeda de fritas es la menos común, y se utiliza cuando se necesita fabricar un producto final de menor granulometría.

La operación de molienda es realizada generalmente en molinos de bolas.

Las demás sustancias que se adicionan a la frita para formar el esmalte, tales como arcillas, colorantes, opacadores y electrolitos, son adicionados al final de la etapa de molienda.

Finalizada la etapa de molienda se procede a un tamizado para separar las bolas del molino del producto final. En el caso de la molienda húmeda el proceso continúa con un secado y una operación de pulverizado de las "tortas" generadas durante ésta operación. El proceso termina con el empacado y almacenaje del producto.

En la figura 2.2 se muestra un esquema general del proceso de producción de fritas.



### **2.2.2.1 Hornos de fundición de fritas.**

Los hornos utilizados en la fabricación de fritas son similares a los utilizados en la fabricación de vidrio.

En Chile se utilizan solamente hornos batch, sin embargo en el resto del mundo se suele utilizar hornos continuos.

Los hornos batch pueden ser tanto fijos como rotatorios, siendo los fijos un contenedor rectangular hecho de chapas de acero y revestido interiormente con ladrillos refractarios. Los hornos rotatorios consisten en un cilindro de las mismas características que el fijo el que está montado sobre rodamientos que le permiten rotar. En ambos casos la materia prima es cargada a través de una abertura ubicada en lo alto del horno. Durante la operación de fritado el horno rotatorio gira en torno a su eje dejando caer sobre la tina de mojado el material fundido, por el mismo orificio empleado durante la carga, en el horno fijo el material es extraído por el fondo a través de una piqueta.

Las temperaturas en el horno fluctúan entre los 1000 y 1500 °C, siendo las temperaturas menores utilizadas en la producción de fritas con plomo.

El tiempo típico de operación del horno por carga es de 4 horas.

### **2.2.3 Materias primas.**

Las fritas de recubrimiento exterior se fabrican básicamente de los siguientes compuestos químicos:

- Cuarzo
- Fluorespato
- Ceniza de soda
- Bórax
- Feldespato
- Circonio
- Oxido de aluminio
- Carbonato litio
- Carbonato de magnesio
- Oxido de titanio

Las fritas de recubrimiento base se fabrican con las mismas materias primas antes citadas, más la adición de pequeñas cantidades de óxidos metálicos, tales como:

- Oxido de cobalto
- Oxido de níquel

- Oxido de cobre
- Oxido de manganeso

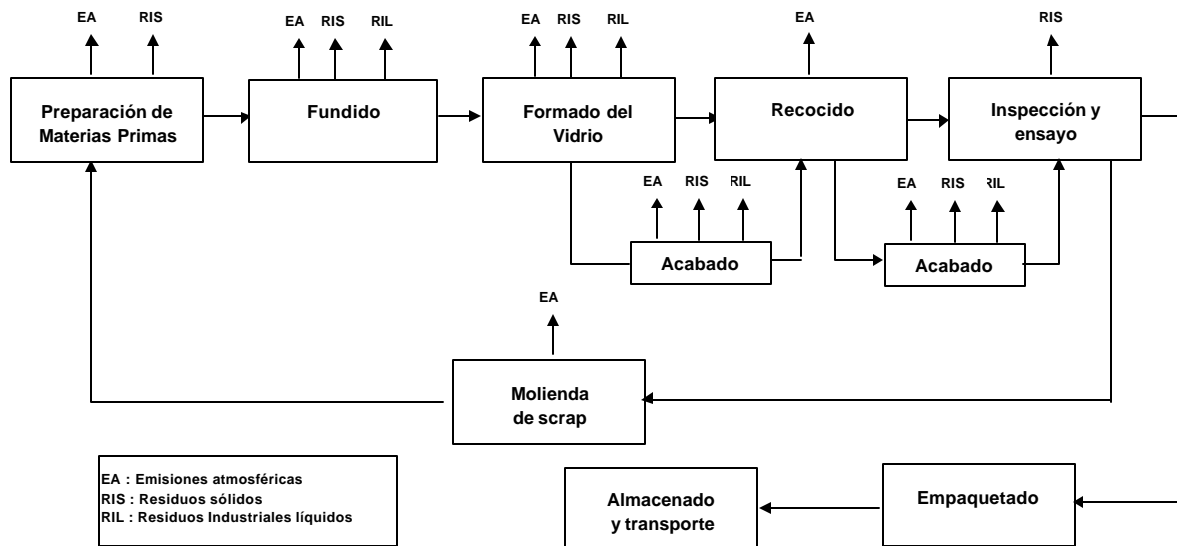
### 3. GENERACIÓN DE CONTAMINACIÓN.

#### 3.1 FUENTES DE GENERACIÓN DE CONTAMINANTES.

##### 3.1.1 Producción de vidrio

En la figura 3.1 se muestra los distintos tipos de emisión que se van generando a través del proceso de producción de productos de vidrio.

Figura 3.1. Emisiones en la producción de vidrio.



Fuente: EPA 1995.

A continuación se detallan las emisiones generadas en cada un de las etapas del proceso productivo.

#### a. Preparación de materias primas.

##### *Emisiones permanentes.*

En esta etapa se producen emisiones de material particulado, ocasionadas por manipulación de materias primas de origen mineral finamente molidas.

Se generan residuos sólidos durante las operaciones de recepción de materias primas, como en el traslado de las mismas dentro de la fábrica. Estos se producen en general debido al derrame durante operaciones de manipulación y trasvasije.

Debido a que las materias primas se suelen mezclar en seco, no se producen residuos líquidos.

#### b. Fusión.

### *Emisiones permanentes.*

Durante la operación de fusión de las materias primas es cuando se produce la mayor cantidad de emisiones atmosféricas, estas consisten tanto en material particulado, como de gases, las cuales están asociadas al funcionamiento de los hornos de fundido.

Las emisiones de material particulado son debidas a la volatilización del material contenido en el baño fundido, el cual al combinarse con los gases presentes es emitido en forma condensado. El material particulado puede contener metales pesados (arsénico, plomo, cadmio, etc.), dependiendo de las materias primas utilizadas.

Los gases emitidos consisten principalmente de óxidos de nitrógeno (NOx), los que se forman debido a las altas temperaturas alcanzadas en el horno y a la presencia de nitrógeno tanto en el aire de combustión como en las materias primas en fusión. También son emitidos óxidos de sulfuro (SOx), formado principalmente a partir del azufre contenido el combustible, y en menor medida en las materias primas. Como regla general se puede suponer que todo el nitrógeno y azufre contenido tanto en las materias primas como en el combustible, es emitido en la forma de NOx y SOx.

Los residuos sólidos asociados al proceso de fundición, corresponden principalmente al material particulado captado por los equipos secos de control de emisiones atmosféricas (filtros de manga y precipitadores electrostáticos).

Si se utilizan equipos húmedos de control de gases (scrubber o venturi scrubbers) para abatir las emisiones de SOx, se pueden generar tanto residuos sólidos como líquidos. Los residuos sólidos se generan al evaporarse el agua contenida en el líquido de lavado, el cual consiste en carbonato de sodio disuelto en agua. Dependiendo de las materias utilizadas en la fabricación del vidrio, el residuo puede contener selenio, cromo, cadmio, cobalto, plomo y sulfato de sodio. El funcionamiento de los equipos de control húmedos también puede eventualmente generar residuos líquidos.

Si se utiliza Reducción Catalítica Selectiva (SCR) o Reducción Catalítica No Selectiva (NSCR), para controlar las emisiones de óxidos de nitrógeno (haciéndolos reaccionar con amoníaco para producir nitrógeno y agua), se pueden producir tanto residuos líquidos como sólidos.

### *Emisiones ocasionales.*

Otro residuo sólido lo constituyen la escoria de los hornos consiste en trozos no usados de vidrio fundido. La escoria esta compuesta fundamentalmente de óxido de magnesio y sulfato de sodio, pudiendo contener también metales pesados.

Cuando son cambiados los ladrillos refractarios de los hornos (aproximadamente cada 9 años), también éstos pasan a constituir residuos sólidos del proceso.

### **c. Formado del vidrio.**

#### *Emisiones permanentes.*

Durante las operaciones de formado de envases, se producen emisiones de COV y material particulado, producto de la descomposición del lubricante del molde al entrar éste en contacto con la gota de vidrio fundido.

También se producen emisiones gaseosas, al limpiar el molde de su recubrimiento de grafito, lo que se hace aplicándoles 1,1,1 – tricloroetano el que se evapora rápidamente a la atmósfera.

#### *Emisiones ocasionales*

Pueden generarse residuos líquidos debido al contaminarse el agua de enfriamiento de las maquinas de formado con aceite lubricante.

### **d. Recocido.**

#### *Emisiones permanentes.*

Emisiones de material particulado y gases son generadas como subproducto del procesos de combustión del horno túnel de recocido.

### **e. Acabado.**

#### *Emisiones permanentes.*

Material particulado y residuos sólidos se generan de los procesos de acabado con arranque de viruta (pulidos, arenados, esmerilados y otros).

Se genera material particulado y gases en los procesos de esmaltado donde es necesario horneado de la pieza.

Se generan emisiones de VOC en los procesos de pintado donde se utilizan compuestos orgánicos.

Residuos líquidos pueden ser originados de las operaciones de decorado con ácido.

### **f. Inspección y ensayo.**

#### *Emisiones permanentes.*

Se generan residuos sólidos provenientes de las piezas defectuosas (scrap), cuando estas no son recicladas.

### **g. Molienda de scrap.**

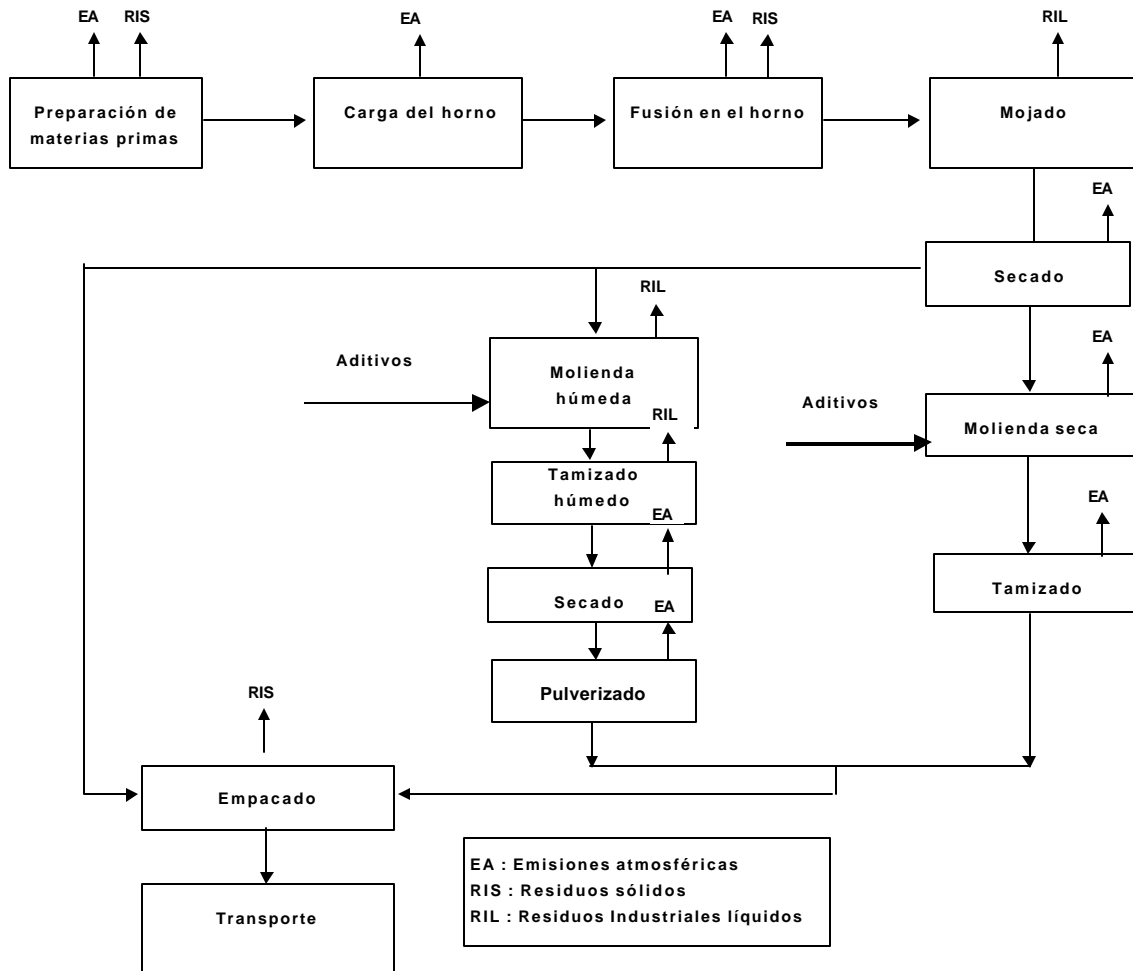
#### *Emisiones permanentes.*

Se generan emisiones de material particulado durante las operaciones de molienda de scrap, la que es en seco.

### 3.1.2 Producción de fritas.

En las figuras 3.2 se muestra los distintos tipos de emisión que se van generando a través del proceso de producción de fritas.

Figura 3.2. Emisiones en las etapas del proceso de producción de Fritas.



Fuente: Elaboración propia a partir de AP42, EPA 1995.

Las emisiones de las etapas de preparación de materias primas, fusión y empacado, son las mismas que en la producción de vidrio por ser los procesos casi idénticos en estas etapas. Las emisiones asociadas a las otra etapas son las siguientes:

#### a. Preparación de materias primas.

Las emisiones de esta etapa son las mismas y se originan en los mismos puntos que en el proceso de producción de vidrio.



## **b. Fusión.**

Las emisiones de esta etapa son las mismas y se originan en los mismos puntos que en el proceso de producción de vidrio.

Además es posible encontrar emisiones de fluoruros en los gases de escape del horno, cuando las materias primas empleadas contienen fluor.

## **c. Mojado.**

*Emisiones permanentes.*

En esta etapa se pueden generar residuos líquidos debido al enfriamiento de las fritas con agua.

## **d. Secado.**

*Emisiones permanentes.*

Emisiones de material particulado y gases son generadas como subproducto del proceso de combustión del horno de secado.

## **c. Molienda seca.**

*Emisiones permanentes.*

Se producen emisiones de material particulado como consecuencia de la molienda en seco.

## **d. Tamizado.**

*Emisiones permanentes.*

EL proceso de tamizado genera emisiones de material particulado propias de estos procesos. En el caso de tamizado en húmedo, no se genera emisiones de material particulado pero si pueden generarse residuos líquidos.

## **e. Molienda húmeda.**

*Emisiones permanentes.*

Se pueden generar residuos líquidos propios de la operación de molienda húmeda o por derrames.

## **f. Pulverizado.**

*Emisiones permanentes.*

Se generan emisiones de material particulado al pulverizarse las tortas provenientes de la etapa de secado de la molienda húmeda.

### 3.2 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS.

Las características físico- químicas del residuo líquido, suma de descargas parciales, generado en el proceso de elaboración de vidrios se indica en la tabla 3.1<sup>1</sup>.

**Tabla 3.1. Caracterización de residuos líquidos**

Parámetro	Unidades	Rango	Media
Sólidos suspendidos	mg/L	5 – 254.3	88.7
PH	Unidades	6.6 - 8.3	7.4
Sulfato	mg/L	322.9 – 342.5	330.3
Hidrocarburo	mg/L		45

Fuente: Elaboración propia a partir del catastro de superintendencia de servicios sanitarios, 1998.

Los principales contaminantes descargados son los que se indican en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2 Carga de contaminantes**

Parámetro	Kg/mes
DBO <sub>5</sub>	1365242
Sólidos Suspendidos	753249
Aceites y Grasas	155651

Fuente: Elaboración propia a partir del catastro de superintendencia de servicios sanitarios, 1998.

La relevancia en cuanto a contaminación hídrica del rubro Producción de Vidrio y Artículos de Vidrio en el contexto de la gestión de la calidad de las aguas en la Región Metropolitana, es muy baja, porque el mayor aportante lo constituyen los sólidos suspendidos que representan solo un 0.04% del total de la carga de acuerdo a la información disponible en la Superintendencia de Servicios Sanitarios (1998).

### 3.3 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.

Los residuos sólidos que se generan dentro del conjunto de actividades se muestran en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3 Residuos sólidos generados en la fabricación de vidrio<sup>(1)</sup>**

Residuo sólido	Porcentaje (%)
----------------	----------------

<sup>1</sup> Actualización del Catastro de RILES de la SISS –1998

Vidrios	27.35
Polvo <sup>(2)</sup>	19.85
Plásticos	12.51
Escoria de fundición	9.93
Papel y cartón	9.29
Madera	7.72
Metales y chatarra	6.18
Residuos de construcción	5.96
Residuos sólidos asimilables a domésticos	0.97
Cenizas de incinerador	0.15
Residuos aceitosos	0.11

Fuente: KOKUSI KOGYO Co. Ltd. 1996.

<sup>1</sup> En base a 453,5 toneladas mes generadas por una industria de 1064 trabajadores

<sup>(2)</sup> incluye el polvo generado en dispositivos de control de la contaminación

Según información obtenida del estudio "Caracterización, priorización y análisis de los procesos industriales de la R. M, Industria del vidrio" realizado por Proceff en 1997. Las emisiones de material particulado y por lo tanto los residuos sólidos provenientes de los equipos de captación, contendrían los metales pesados:

- Vanadio
- Níquel
- Cromo
- Selenio
- Plomo
- Cadmio
- Antimonio
- Arsénico

### 3.4 CARACTERIZACIÓN DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA.

En la tabla 3.4 se muestra el aporte del sector a las emisiones totales de material particulado primario en la Región Metropolitana, las que representarían un 0.7% del total. Por lo tanto, su aporte respecto a este contaminante no sería significativo.

Esto se reafirma, si se considera que las concentraciones de material particulado presentadas por los hornos fluctúan entre los 4.3 y los 37.8 [mg/m<sup>3</sup>N], bastante menores a la norma actual de 56[mg/m<sup>3</sup>N].

**Tabla 3.4 Emisiones de MP en producción de vidrio.**

Contaminante	Total Fuentes Fijas [Ton/año]	Productos de Vidrio	
		[Ton/año]	[%]
MP	1618	11.44	0.7%

Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos Ffijas 1999 de PROCEFF.

La totalidad de las empresas del sector utilizan sistemas de captación secos, ya sea filtros de manga o precipitadores electrostáticos. Algunas utilizaron en el pasado equipos de control húmedo, no teniendo una buena experiencia con ellos, debido tanto a la insuficiente eficiencia alcanzada, como a los problemas de tratamiento de los residuos líquidos generados.

En la tabla 3.5 se puede observar emisión específica de varios contaminantes asociadas a la utilización de distintos tipos de hornos. Se evidencia que las emisiones de NOx serían las emisiones más importantes de los hornos y por lo tanto del proceso en general.

Las emisiones de NOx del horno de oxi-combustión son un 25% menores a las del horno regenerativo, sin embargo antes de hacer un juicio al respecto, es necesario tener información respecto al contenido de nitrógeno en las materias primas.

Las emisiones de SOx, son también significativamente más altas en los hornos continuos (oxi-combustión y regenerativo), con respecto a los hornos batch (day-tank y crisol), lo que se debe en general a que en los procesos de alta producción se suele usar petróleos pesados con alto contenido de azufre, con el fin de reducir costos.

**Tabla 3.6 Emisiones específicas [gr/Kg vidrio] por tipos de horno.**

Contaminante	Day-Tank	Crisol	Oxi-combustión	Regenerativo
MP	0.75	0.71	0.63	0.11
NOx	1.62	6.88	2.34	3.12
HCT	0.30	0.65	0.005	0.02
SO <sub>2</sub>	0.22	0.45	3.78	1.18

Fuente: Mediciones de hornos, realizadas durante el proyecto "Caracterización, priorización y análisis de los procesos industriales de la R. M, Industria del vidrio", PROCEFF, Julio 1997

En la tabla 3.7 se muestra el tipo de combustible utilizado en los hornos. En el se observa que la gran mayoría de los hornos (13 de los 15) estarían usando combustibles con bajo contenido de azufre (gas natural , kerosene), lo que implicaría un bajo nivel en el aporte de emisiones de SOx dentro del sector. Esto es especialmente cierto si se considera que dentro de las fuentes que usan actualmente gas natural, se encuentran las fuentes de mayor tamaño.

**Tabla 3.7 Tipo de combustible utilizado por los distintos hornos.**

Combustible utilizado	Nº de hornos
Gas Natural	11
Kerosene	2
Petróleo N°6	2

<b>Total general</b>	<b>15</b>
----------------------	-----------

Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos de muestreo 1999 de PROCEFF.

En la actualidad, dos empresas importantes del sector han implementado en sus hornos de fundición tecnología de oxi-combustión, con la consiguiente reducción en sus emisiones de óxido de nitrógeno, el cual es un contaminante típicamente asociado a la producción de vidrio. A corto plazo se prevee la existencia de normativa para NOx.

Se destaca por último, que en la fabricación de Cristal al Plomo, el material particulado pueden llegar a contener entre un 20 y un 60% de plomo y entre el 0.5 y el 2 % de arsénico.

### **3.5 MOLESTIAS.**

Las principales molestias generadas por los tipos de industrias en estudio lo constituye la emisión de contaminantes atmosféricos, y en segundo termino, el ruido que se pudieran producir en las operaciones de chancado y molienda de productos, principalmente durante la molienda de vidrio reciclado.

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

Se entenderá la prevención de la contaminación como la reducción o eliminación de residuos en el punto de generación, así como proteger los recursos naturales a través de la conservación o uso más eficiente de la energía, agua u otros materiales.

En base a esto, la prevención de la contaminación comprende actividades como reducción de residuos (o de su peligrosidad) en el origen y reciclaje en el sitio de generación (como parte del proceso productivo).

**No se consideran actividades de prevención de la contaminación** las operaciones de reciclaje y/o recuperación realizadas por un tercer establecimiento, el concentrar los componentes peligrosos para efectos de reducir su volumen o la transferencia de componentes peligrosos de un medio a otro (por ejemplo, evaporación de solventes). Tampoco son medidas de prevención el tratamiento de residuos y la disposición final de los mismos, si bien son medidas apropiadas de manejo; estas deben ser tomadas posterior a las medidas de prevención de contaminación y son materia del siguiente capítulo.

### 4.1 CONTROL DE PROCESOS.

La gran mayoría de los residuos que se generan en la manipulación de las materias primas se producen en la áreas de recepción y reparto. Luego, mejoras en la limpieza y mantención de estas áreas pueden minimizar la generación de residuos, pues al mantener las áreas limpias, se permite que las pilas de material sobrante sean recolectadas y añadidas a las materias primas.

Otras medidas a considerar son:

- Pavimentación de las áreas de recepción, hace que las tarea de recolección y limpieza llegue a ser mucho más eficiente y efectiva.
- Una buena identificación y organización ayuda a que las pilas de material restante estén identificadas y separadas, facilitando su reincorporación al proceso.
- La peletización de las materias primas, sobre todo las que contienen metales pesados, puede ser utilizada como un medio de disminuir las emisiones de material particulado.
- Encapsulamiento de cintas transportadoras de materias primas como medio de disminuir las emisiones de material particulado.

En el proceso mismo, es posible:

- La utilización del llamado "Sistema de Fusión Rápida", el cual involucra el precalentamiento del batch de materias primas previo a su fusión por medio de un intercambiador de calor que aprovecha el calor remanente en los gases de escape

del horno para calentar el batch a una temperatura de entre 205 y 260 °C. Esta operación reduce el tiempo del proceso y el consumo de energía, así como las emisiones atmosféricas asociadas a él.

- Mantener un riguroso control de la temperatura del horno reduciendo el consumo de combustible y por lo tanto las emisiones asociadas a su combustión.
- Evitar temperaturas excesivas en el horno disminuyendo tanto la formación de material particulado como de NOx.

#### **4.2 MEJORAS TECNOLÓGICAS.**

Para reducir las emisiones de NOx existen varias tecnologías posibles de usar entre las que se cuentan, el uso de quemadores de bajo NOx y la oxi-combustión.

Los quemadores de bajo NOx, son quemadores especialmente diseñados para disminuir la generación de NOx producto de la combustión.

El uso de hornos con oxi-combustión, en los cuales el aire de combustión (conteniendo cerca de un 80% de nitrógeno) es reemplazado por oxígeno puro, permite una reducción del volumen de los gases de escape de entre 4 y 5 veces, comparado con los emitidos por un horno regenerativo. Además, las emisiones de NOx son reducidas hasta en un 80 % y el material particulado entre un 20 y un 80%. También han sido reportadas reducción en la emisión de fluoruros, de por sobre el 45%.

Existe una técnica llamada operación con bajo exceso de aire, la cual consiste en reducir la concentración de oxígeno en zona de llama, y de este modo reducir la formación de NOx, alcanzándose reducciones cercanas al 20%. Esto se logra cambiando la relación de contacto entre el aire y el combustible. La reducción en la generación de NOx esta relacionada con las siguientes variables.

- Reducción en la velocidad del aire
- Reducción en la velocidad del gas.
- Reducción en el ángulo de contacto entre el aire y el combustible.
- Localización de los inyectores de gas natural.

Debido a que las emisiones de SOx en la producción de vidrio, están asociadas principalmente al contenido de azufre en el combustible, el empleo de gas natural asegura una reducción importante de este contaminante, por su bajo contenido de azufre.

La utilización de hornos con utilización de energía eléctrica también es un método efectivo de disminución de emisiones aunque el proceso tiende a ser más costoso que los que utilizan combustibles fósiles. La reducción se logra debido a que los hornos

eléctricos calientan el baño, aprovechando que algunas clases de vidrio, como el de cal-soda, son conductores a altas temperaturas. Así, la energía es suministrada a toda la masa de vidrio y no desde la superficie lo que permite mantener la superficie mas fría. Se minimiza así las emisiones provenientes de la disociación del,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$ , y el material particulado asociado a dichas disociaciones y al arrastre desde el baño líquido. También se han informado disminución en emisiones de fluoruros.

### **Uso de material reciclado.**

En la industria de productos de vidrio, una buena oportunidad de prevención de la contaminación es el uso de vidrio de desecho o reciclado, como parte de la materia prima utilizada. Los fabricantes norteamericanos de vidrio usan típicamente un 30% de material reciclado junto con otras materias prima en la fabricación de sus productos.

Los envases de vidrio ofrecen excelentes oportunidades de reciclaje. Suponiendo que ellos estén libres de cualquier suciedad u otros contaminante, el vidrio de envases puede ser reciclado una y otra vez sin producción de residuos o pérdidas de su calidad.

#### *Beneficios directos*

Una tonelada de vidrio reciclado permite ahorrar cerca de 1.2 toneladas de materias primas. Por cada tonelada de vidrio reciclado se ahorra además, cerca de 35 litros de petróleo.

El uso de vidrio reciclado reduce los residuos líquidos generados en una planta en cerca de un 50%, la contaminación del aire en cerca de un 20%, además de reducir los desechos mineros generados por la extracción de materias prima en cerca de un 80%. También produce reducciones energéticas de cerca del 68%.

#### *Beneficios indirectos*

El reciclaje permite preservar una cantidad significativa de recursos naturales y de materias primas necesarias para su fabricación.

El uso de reciclado ayuda a alargar la vida útil del horno debido a las menores temperaturas de operación.

El uso de vidrio reciclado preserva el espacio de los vertederos.

Una gran cantidad del vidrio reciclado de envases es usada para hacer nuevos envases. Sin embargo, una de las ventajas del vidrio es que puede ser usado en una serie de otros productos tal y como si fuera vidrio nuevo.

Algunas de estas aplicaciones en que puede ser usado el vidrio de desecho es :

- Abrasivos.



El vidrio de envases y de otros productos puede ser usado como materiales para arenado.

- Agregado sustituto.

El reciclado es usado en cimiento de caminos, concreto, y “vidrioasfalto”.

- Aplicaciones decorativas.

El vidrio reciclado puede ser usado en tejas cerámicas, joyas artesanales, marcos de fotos y otros artículos decorativos.

Antes de que el vidrio de envases pueda ser reciclado, éste debe ser limpiado concienzudamente. Suciedad, tierra, metales u otros contaminantes terminaran causando problemas en la fabrica de vidrio. Estos pueden llegar a ser tan graves como para tener que limpiar el horno de fundición, lo que significa una gran perdida en tiempo y dinero. Por lo tanto, es aconsejable gastar todo el tiempo necesario en limpiar los envases, si es necesario empleando detergente, agua caliente y escobillas. Las etiquetas que sean de papel pueden ser dejadas, ya que se quema con facilidad. Sin embargo las etiquetas plásticas deben ser removidas.

Es recomendable la separación de los vidrios por color, café, verde y transparente, ya que colores diferentes, así como objetos extraños presentan serios problemas de contaminación en el horno. Para ayudar al proceso de clasificación, el vidrio se puede separar por color en los puntos de recolección utilizando para ello diferentes cajas. En nuestro país el vidrio es recolectado sin distinguir en colores, realizándose la clasificación dentro de la industria que utilizara el material reciclado, en ésta operación se separa básicamente el vidrio de color del transparente en forma manual.

#### **4.2.1 Eficiencias de tecnologías**

A continuación se entrega un análisis comparativo de métodos de realizado en Estados Unidos por (EPA 1994). Los datos analizados correspondieron a más de 15 industrias, incluyendo fabricación de envases, vidrio plano y productos soplados/prensados.

Se han incluido técnicas de abatimiento, específicamente la Reducción Catalítica Selectiva , conocida por sus siglas en ingles SCR (Selective catalytic reduction) y Reducción Catalítica No Selectiva , conocida por sus siglas en ingles SNCR (Selective noncatalytic reduction). Estas técnicas consisten en tratar los gases que contienen NOx con amoniaco, para obtener nitrógeno y agua.

Se hace una comparación de las siguientes tecnologías básicas:

- Modificación de la combustión.
  - Oxi-combustión
  - Quemadores de bajo NOx

- Modificaciones del proceso.
  - Calentamiento de reciclado.
  - Hornos eléctricos.
- Modificaciones a la poscombustión.
  - Reducción selectiva catalítica (SCR).
  - Reducción selectiva no catalítica (SNCR).

En la tabla 4.1. se muestra la reducción de emisiones asociada a la aplicación de cada una de las tecnologías antes mencionadas, comparadas con emisiones sin control.

**Tabla 4.1. Reducción de emisiones para varias tecnologías**

Tecnología	Reducción de NO (%)
Modificación de la combustión	
Quemadores de bajo NOx	40
Oxi-combustión	85
Modificación del proceso	
Modificación del horno	75
Precalentamiento de reciclado	25
Horno eléctrico	10
Modificaciones a la post combustión.	
SCR	75
SNCR	40

Fuente: EPA 1994.

Algunas de las conclusiones del estudio citado son:

- La oxi-combustión, parece ser la tecnología más efectiva, alcanzando reducciones del 85%.
- Las reducciones de NOx por precalentamiento de reciclado variaron ampliamente en los datos de origen.
- Los quemadores de bajo NOx muestran ser relativamente efectivos y simples de instalar.

- Se reportaron notables disminuciones de NOx por la utilización de SCR.

#### 4.2.2 Impacto ambiental.

Ninguna de las tecnologías mostradas en la tabla 4.1. generan residuos sólidos o líquidos, con excepción de la disposición de catalizadores gastados de SCR. Algunas formulaciones de catalizadores son potencialmente tóxicas y en Estados Unidos son tratadas como residuos peligrosos en su disposición. Sin embargo, recientes tendencias industriales han mostrado que son materiales fácilmente recuperables y fáciles de reciclar, evitándose así problemas de disposición.

Las tecnologías antes mencionadas tienen impactos en otros contaminantes atmosféricos, lo cual se analiza a continuación.

Las modificaciones de la combustión de los hornos de vidrio que disminuyen el NOx pueden aumentar las emisiones de CO y de hidrocarburos no quemados. En la tabla 4.4. para un proceso de oxi-combustión se puede ver un aumento en las emisiones de SOx y un descenso en las de CO y CH<sub>4</sub>. Debe notarse que los datos de la tabla 4.2. hacen referencia a emisiones específicas, de contaminante por vidrio producido.

**Tabla 4.2. Efectos de la Oxi-combustión en las emisiones atmosféricas.**

Contaminante	Combustión convencional [kg/Ton de vidrio fabricado]	Oxi- combustión [kg/Ton de vidrio fabricado]
Partículas	0.60	0.442
NOx	2.52	0.406
SOx	0.31	0.484
CO	0.04	0.0015
CH <sub>4</sub>	0.01	0.004

Fuente: EPA 1994.

#### 4.2.3 Impacto al proceso.

El calentamiento del reciclado puede ser hecho usando dispositivos de contacto directo o indirecto para realizar la transferencia de calor. Para los dispositivos de contacto directo, en que los gases de escape pasan a través del vidrio reciclado, no parece haber un efecto neto en la emisión de partículas, existiendo algún efecto de adsorción de SOx por el reciclado. Para sistemas de control indirecto no existe impacto alguno.

En la SCR (reducción selectiva catalítica), la inyección de amoníaco en los gases inevitablemente trae como resultado alguna cantidad de amoníaco sin reaccionar, así

como, algunos subproductos ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{Cl}_2$  y  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) en los gases de escape. Tales emisiones generalmente aumentan con la antigüedad de los catalizadores.

En la mayoría de las aplicaciones de SCR, el amoníaco sin reaccionar es mantenido bajo el rango entre 20 y 40 ppm, controlando la inyección de amoníaco.

La inyección de amoníaco puede aumentar la emisión de material particulado, por la formación de sulfatos/ bisulfatos de amoníaco y cloruro de amonio.

Como el SCR los sistemas de SNCR (reducción selectiva no catalítica) genera emisiones de amoníaco y sales de los componentes ácidos de los gases de escape.

También se han citado:

- Efectos insignificantes en la emisión de partículas
- Leve aumento de las emisiones de CO
- Leve disminución en emisiones de  $\text{SO}_2$

#### **4.2.4 Impacto energético.**

##### **4.2.4.1 Modificaciones a la combustión.**

Datos indican que las operaciones con bajo exceso de aire y cambios en la relación de contacto entre aire y combustible, no afectan significativamente la eficiencia en la utilización de la energía en el horno.

Las tecnologías de oxi-combustión, demuestran tener un bajo consumo de energía (MW/Ton de vidrio fabricado), siendo éste efecto una de las principales razones para su uso.

Se observan ahorros de energía de un 15% en un horno regenerativo de 70 ton/día de capacidad operando a 58 ton/día. Además utilizando casi la misma cantidad de combustible, la producción del vidrio aumenta de 62.7 ton/día a 75.8 (un 21%). Esto corresponde a un ahorro de energía de entre un 30 y un 40%.

##### **4.2.4.2 Modificación del proceso.**

El precalentamiento del reciclado, está diseñado para recobrar calor de los gases de escape y por lo tanto reducir el consumo de energía en el proceso de fundido del vidrio.

Algunos métodos presentan un ahorro de entre un 8 y un 12% de la energía total.

Los hornos eléctricos, simplemente substituyen por energía eléctrica la energía del combustible empleado en la fusión. Si se considera la eficiencia de producir electricidad a partir del combustible y luego liberarla en la masa fundida, entonces el horno eléctrico es inherentemente menos eficiente.

#### 4.2.4.3 Modificaciones a la poscombustión.

Existen algunas caídas de presión a través del SCR que requirieren de energía adicional proveniente de un ventilador, la cual depende del tamaño de la planta, y se muestra en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3. Consumo de energía de ventilador de SCR**

Tamaño de la planta [Ton/día]	Energía de Ventilador [kW]
50	6.6
250	33.2
750	99.2

Fuente: EPA 1994.

### 4.3 SUSTITUCIÓN DE MATERIAS PRIMAS.

A pesar de que la mayoría de emisiones de óxido de nitrógeno, son debidas a la reacción del nitrógeno presente en el aire de combustión, parte de este también puede provenir de las materias primas utilizadas que contienen nitrógeno. Esto es especialmente importante en Chile, donde la disponibilidad de nitrato de sodio (salitre) a bajo precio, lo hacen atractivo para ser utilizado como refinante.

A pesar de que se usa nitrógeno en la producción de vidrios planos, la mayoría de las veces es usado en la elaboración de envases y vidrio prensado / soplado.

Debido a que la formación del NO<sub>2</sub> es estequiométrica, todo el nitrógeno presente en el nitrato es liberado a la atmósfera.

Ya que existen otros compuestos químicos posibles de usar como refinantes, estos deberían ser preferidos en lugar del nitrato.

Además, se recomienda disminuir al máximo el uso de compuestos que contengan metales pesados como refinantes o colorantes.

### 4.4 IMPLEMENTACION DE SISTEMAS DE GESTION AMBIENTAL

Los diferentes sectores productivos han realizado esfuerzos significativos para evaluar su comportamiento ambiental (revisiones o auditorías); cuentan además con variadas alternativas para reducir las eventuales emisiones (ya sea con sistemas de control o con nuevas tecnologías); y con diferentes procedimientos para minimizar los residuos. Sin embargo para ser realmente eficaces en su comportamiento ambiental, las acciones deben ser conducidas dentro de un sistema de gestión estructurado e integrado a la actividad general de gestión de la organización, con el objeto que ayude al

cumplimiento de sus metas ambientales y económicas, basándose en el mejoramiento continuo.

En particular, la Norma ISO 14.001 "Sistemas de Gestión Ambiental" (INN, 1996), especifica los requisitos para un sistema de gestión ambiental, que permita a una determinada organización formular políticas y objetivos teniendo en cuenta los requisitos legales y la información sobre impactos ambientales significativos. Esta norma se aplica a toda organización que desee:

- Mejorar la calidad de procesos y productos aumentando la eficiencia.
- Disminuir los costos, producto de un uso más eficiente de la energía y los recursos.
- Aumento de la competitividad.
- Acceso a nuevos mercados.
- Reducción de riesgos.
- Mejoramiento de las condiciones laborales y de salud ocupacional.
- Mejora de las relaciones con la comunidad, autoridades y otras empresas.

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

### 5.1 MÉTODOS DE CONTROL DE EMISIONES DE LA ATMÓSFERA.

Considerando las características de las emisiones atmosféricas de la industria del vidrio, esto es:

- Altas temperatura de los gases.
- Posible formación de ácido fluorhídrico o sulfúrico dependiendo de las materias primas y el combustible utilizado.
- Presencia de metales pesados en el material particulado.

Los equipos que mejor se ajustan a las condiciones de trabajo son los precipitadores electrostáticos, debido a que pueden operar a temperatura más altas que los filtros de manga (previniendo así la formación de ácidos) y soportar aumentos de temperatura sin descomponerse. El inconveniente de este tipo de equipos es básicamente el precio de adquisición, el que suele ser alto haciendo posible su uso sólo en empresas con altos niveles de producción.

La segunda opción es el uso de filtros de manga los cuales también tienen altas eficiencias de captación. Sin embargo, a menos que se utilicen telas especiales (lo que suele ser costoso) es necesario un estricto control de la temperatura de los gases de entrada para evitar quemar las mangas, debido a las altas temperaturas, o la formación de condensados y ácidos, por temperaturas bajo el punto de rocío. La formación de ácidos también obliga al preparamiento de los gases para evitar o reducir su formación.

La ventaja de éstos equipos es su menor costo de adquisición siendo por ello adecuados en instalaciones donde la alternativa de adquirir un precipitador electrostático, sea demasiado costosa.

Las dos tecnologías antes mencionadas tienen la ventaja de captar el polvo en seco, no generándose residuos líquidos a tratar.

Aunque existe la posibilidad de aplicar equipos de control húmedo su uso no es recomendado, debido a la generación de residuos líquidos conteniendo metales pesados lo que obliga a invertir en nuevos equipos que permitan su remoción. Sin embargo, se ha incluido su análisis en la guía para que sea utilizado como punto de comparación con respecto a las tecnologías secas.

En las empresas nacionales del rubro analizado se emplean solamente equipos secos (filtros de manga y precipitadores electrostáticos) y si bien se han utilizado equipos húmedos en el pasado, tanto su eficiencia insuficiente como problemas asociados a la generación de residuos líquidos han obligado a su reemplazo por filtros de manga.

A continuación se describen en detalle las características de los distintos equipos mencionados.

### 5.1.1 Precipitadores electroestáticos.

Los precipitadores electroestáticos (PE) son sistemas de control de emisiones de material particulado (MP), los cuales se caracterizan por la utilización de fuerzas eléctricas para movilizar las partículas contenidas en la corriente de gases contaminados hacia una superficie de recolección. Una carga eléctrica es aplicada a las partículas de la corriente de gas al pasar éstas a través de la corona, siendo ésta una región donde los iones fluyen en fase gaseosa. Los electrodos ubicados en el centro del plano del flujo se mantienen a un alto voltaje y generan un campo eléctrico que fuerza a las partículas hacia las paredes recolectoras.

Atendiendo a la forma de las paredes colectoras los PE se pueden clasificar en tipo:

- **PE tipo placa – alambre:** En un PE de tipo placa - alambre, el gas a tratar fluye horizontalmente y paralelo a placas verticales de metal. El espacio entre las placas varía típicamente entre 19 y 38 cm (9 y 18 pulgadas).

Dentro de cada sendero de flujo, el flujo de gas pasa por cada uno de los alambres en secuencia a medida que fluye a través de la unidad. Las superficies de flujo entre las placas son llamadas ductos. Las alturas de los ductos varían típicamente entre los 6 y 14 m.

- **PE tipo tubo – alambre :** En los PE tipo tubo - alambre, también llamado PE tubular, el gas emitido fluye verticalmente a través de tubos conductivos, generalmente con varios tubos operando en paralelo.

Los tubos pueden estar alineados en formación circular, cuadrada, o en forma de panal hexagonal. Los tubos son normalmente de 7 a 30 cm de diámetro y de 1 a 4 de longitud.

Dependiendo del método empleado para desalojar el material particulado que se adhiere a las paredes colectoras tanto los precipitadores electrostáticos de placas como los de tubo se pueden clasificar en:

- **Precipitadores electrostáticos secos (PES):** En los PES secos, las placas o tubos colectores son golpeados o “martillados” por varios métodos mecánicos para desprender las partículas, las que se deslizan hacia una tolva en donde son recolectadas.

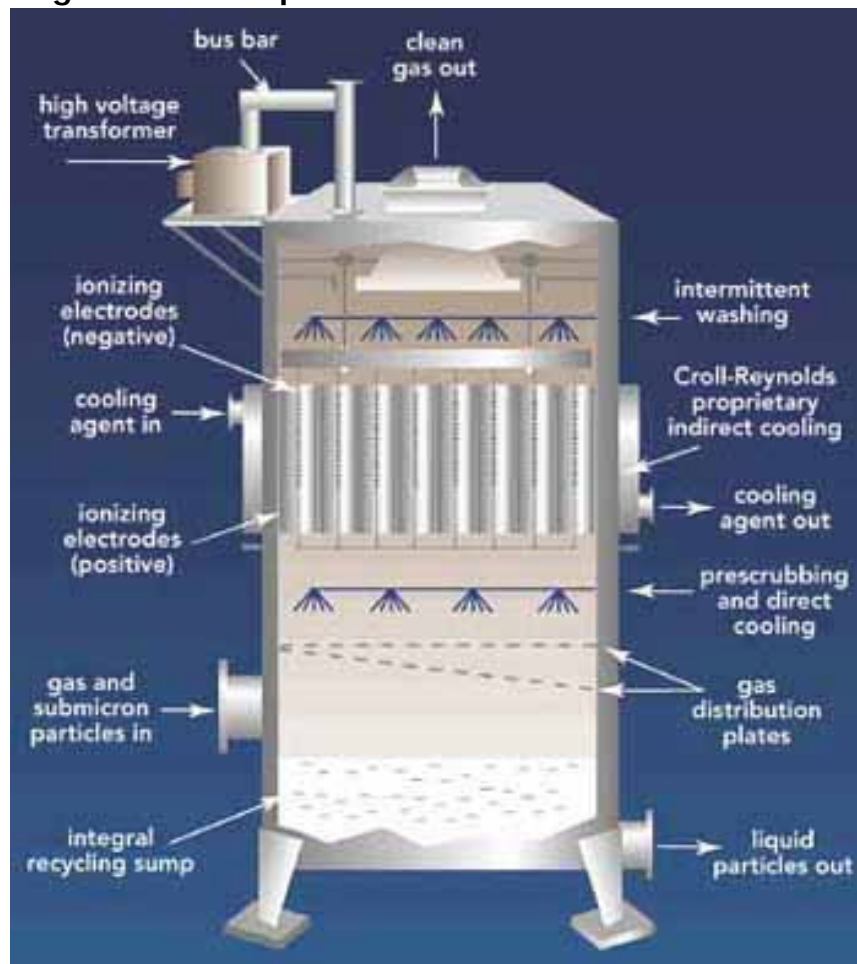
Un factor principal en el funcionamiento de los PE es la resistividad del material recolectado, de la cual depende en gran medida la eficiencia de recolección del equipo. La resistividad, es fuertemente afectada por variables tales: Temperatura, Humedad, composición del gas, composición de las partículas, característica de la superficie.

- **Precipitadores electrostáticos húmedos (PEH):** En los PEH, los colectores se bañan intermitentemente o continuamente con un líquido, normalmente agua (ver Figura 5.1). Las tolvas de recolección que utilizan los PES se reemplazan por un sistema de drenaje. El efluente húmedo es recolectado y frecuentemente tratado *in situ*.



A diferencia de que sucede en los PES, la resistividad del material recolectado por lo general no es un factor importante en el rendimiento del PES. Debido a la alta humedad en un PEH, la resistividad de las partículas se reduce.

**Figura 5.1 Precipitador electrostático húmedo**



Fuente: Clean Air tech 1999.

#### **5.1.1.1 Tipo de contaminante abatido.**

Los precipitadores electrostáticos se utilizan en general para el control de materia particulada (MP), el que incluye materia particulada menor o igual a 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ), materia particulada menor o igual a 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{2,5}$ ), y contaminantes atmosféricos peligrosos (HAPs) en forma de partículas, tales como la mayoría de los metales.

Los PEH se utilizan frecuentemente para controlar neblinas ácidas y pueden proporcionar un control incidental sobre los compuestos orgánicos volátiles.

#### **5.1.1.2 Eficiencias de reducción.**

La eficiencia típica de los equipos de control nuevos varía entre 99 y 99,9 %. Los equipos existentes más antiguos tienen un rango de eficiencia de operación de entre el 90 y el 99,9%.

Aunque son varios los factores que determinan la eficiencia de recolección de los PES, el más importante es el tamaño del equipo. Esto, debido a que a mayor tamaño del equipo, mayor será el tiempo de permanencia de la partícula en el PES y por lo tanto mayor la probabilidad de que ésta sea atrapada.

Al maximizar la fuerza del campo eléctrico, se maximiza la eficiencia de recolección del PES.

La eficiencia de recolección también se ve afectada por la resistividad del polvo, la temperatura del gas, la composición química (del polvo y del gas) y por la distribución del tamaño de las partículas.

### **5.1.1.3 Rangos de operación.**

En la tabla 5.1 se muestran los rangos de operación en los cuales trabajan los distintos tipos de precipitadores.

Tabla 5.1. Rangos de operación de los precipitadores electrostáticos.

Tipo de precipitador	Caudal de Aire [m <sup>3</sup> /s]	Temperatura. [C°]	Concentración de entrada [gr/m <sup>3</sup> N]
Placa alambre seco	100 - 500	700	2 - 110
Placa alambre húmedo	50 - 250	80 - 90	2 - 110
Tubo alambre seco	0,5 - 50	700	1 - 10
Tubo alambre húmedo	0,5 - 50	80 - 90	1 - 10

Fuente: EPA 1999

### **5.1.1.4 Requisitos de pretratamiento de las emisiones.**

En los PES cuando gran parte del cargamento de contaminantes consiste en partículas relativamente grandes se pueden utilizar recolectores mecánicos, tales como los ciclones o las torres lavadoras, para reducir la carga sobre el PE, especialmente a concentraciones altas de entrada.

A veces se acondiciona el gas inyectando un agente dentro de la corriente gaseosa, el cual se mezcla con las partículas y altera su resistividad para promover una velocidad de migración más alta, y por lo tanto, una mayor eficiencia de recolección. Los agentes acondicionadores utilizados incluyen SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, compuestos de sodio, amoníaco, y agua; el agente acondicionador de mayor uso es el SO<sub>3</sub>.

### **5.1.1.5 Ventajas.**

- Los precipitadores electrostáticos en general, ocasionan pérdidas de presión muy pequeñas, típicamente menores de 13 mm de columna de agua, debido a que actúan únicamente sobre el material particulado a eliminar. Por ello, los requisitos energéticos y los costos de operación tienden a ser bajos.
- Son capaces de alcanzar eficiencias muy altas, aún con partículas muy pequeñas.

- Las velocidades de flujo relativamente grandes se pueden manejar de manera efectiva.
- Los PE secos pueden ser diseñados para un rango amplio de temperaturas de gases, pudiendo manejar temperaturas de hasta 700 °C.
- En los PE secos permiten una fácil manipulación de los residuos.
- Los PE húmedos pueden recolectar partículas pegajosas y neblinas, así como polvos explosivos o con alta resistividad..
- La atmósfera húmeda que resulta del enjuague de los PEH les permite recolectar partículas con alta resistividad, absorber gases u ocasionar que se condensen los contaminantes; además, ésta enfría y acondiciona la corriente de gas.

#### **5.1.1.6 Desventajas.**

- Los PE tienen costos de capital generalmente altos. Los electrodos de descarga requieren altos niveles de mantenimiento.
- En general los PE no son muy apropiados para uso en procesos que sean demasiado variables, debido a que son muy sensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas.
- Los PE son difíciles de instalar en sitios con espacio limitado pues son deben ser relativamente grandes para obtener las bajas velocidades de gas necesarias para la recolección eficiente de MP.
- Ciertas partículas son difíciles de recolectar debido a sus características de resistividad demasiado altas o bajas.
- Se requiere personal de mantenimiento capacitado, así como de precauciones especiales para proteger al personal del alto voltaje.
- Los PE secos no son recomendables para la eliminación de partículas pegajosas o húmedas.
- Los PE húmedos añaden la complejidad de un sistema de enjuague, y el hecho de que el sedimento fangoso resultante deba ser tratado con más cuidado que un producto seco.
- Los PE húmedos se limitan a operar a temperaturas del caudal por debajo de aproximadamente 80 a 90 °C, y generalmente deben ser construidos con materiales anticorrosivos.
- En los PE húmedos, se debe tomar en cuenta el manejo de las aguas residuales. En los sistemas más complicados se pueden requerir eliminadores de espuma y remoción de lodos, clarificación en equipo específicos, ajuste del pH y/o tratamiento para remover los sólidos disueltos.

### **5.1.1.7 Aplicación en la industria del vidrio.**

Los PE han sido aplicados con buen éxito en la industria del vidrio nacional, siendo todos los existentes del tipo seco.

Dado su alto costo de adquisición se suelen utilizar en industrias con un alto nivel de producción, lo cual coincide con la experiencia nacional, encontrándose instalados en las empresas de mayor producción.

Debido a que los PE húmedos deben trabajar a temperaturas relativamente bajas, y a los problemas que acarrea el tratamiento de los residuos líquidos generados, no se recomienda su utilización de equipos húmedos en la industria del vidrio.

### **5.1.2 Filtros de manga.**

En un filtro de manga, el gas se pasa por una tela de tejido apretado o afelpada, causando que el material particulado presente en el gas sea recolectado en la tela por tamizado y otros mecanismos. Las mangas pueden ser de 6 a 9 m de longitud y de 12,7 a 30,5 cm de diámetro. Se colocan grupos de mangas en compartimentos aislables para permitir la limpieza de las mangas o el reemplazo de algunas de ellas sin tener que interrumpir la operación en todo el filtro de manga.

La capa de polvo del material particulado recolectado que se forma sobre el filtro puede aumentar la eficiencia de recolección significativamente.

Las condiciones de operación son factores determinantes para la selección de la tela. Algunas telas (por ejemplo, poliolefinas, nylon, acrílicos, poliésteres) son útiles solamente a temperaturas relativamente bajas de 95 a 150 °C. Para flujos de gases de alta temperatura, deben utilizarse telas más estables térmicamente, tales como la fibra de vidrio, el Teflón o el Nomex.

El funcionamiento de los filtros está determinado entre otros factores, por la tela seleccionada, la frecuencia y el método de lavado, y las características del particulado.

En general los filtros de mangas se pueden diferenciar por el método empleado en la operación de limpieza de los mismos, siendo estos:

- Sacudida mecánica.
- Aire inverso
- Pulso jet

#### **5.1.2.1 Tipo de contaminante abatido.**

Los tipos de contaminantes abatidos son los mismos que en el caso de los precipitadores electrostáticos.

#### **5.1.2.2 Eficiencias de reducción.**

Las eficiencias típicas de diseño en equipo nuevo son entre el 99 y el 99,9%. Los equipos viejos existentes tienen un rango de eficiencias de operación reales entre el 95 y el 99,9%.

Varios factores determinan la eficiencia de colección de los filtros de manga. Entre ellos, la velocidad de filtración del gas, las características de las partículas, las características de la tela y el mecanismo de limpieza. En general, la eficiencia de recolección aumenta a mayores velocidades de filtración y tamaño de las partículas.

Para una combinación dada de polvo y de diseño del filtro, la concentración de partículas a la salida del filtro de manga es casi constante, mientras que es más probable que la eficiencia global varíe con la carga de partículas. Por esta razón, los filtros de manga pueden considerarse como equipos con concentración constante a la salida y no como equipos de eficiencia constante.

### **5.1.2.3 Rangos de operación.**

- a. Caudal de aire:** Los filtros de mangas se separan en dos grupos, estándar y hechas a la medida. Los filtros de mangas estándar son unidades ya construídas y que se tienen en existencia, pueden manejar desde menos de 0,10 a más de 50 metros cúbicos estándares por segundo ( $m^3/s$ ). Los filtros hechos a la medida son diseñados para aplicaciones específicas y son generalmente mucho más grandes que las unidades estándar, por ejemplo, desde 50 hasta más de 500 ( $m^3/s$ ).
- b. Temperatura:** Pueden manejarse adecuadamente de hasta aproximadamente 260 °C, con temperaturas punta de hasta aproximadamente de 290 °C, usando telas del material adecuado. Las temperaturas mínimas de la corriente de contaminantes a eliminar deben ser mayores y mantenerse por encima del punto de rocío de cualquier material condensable en los gases.
- c. Concentración de entrada:** Las concentraciones típicas a la entrada de los filtros son de 1 a 23 gramos por metro cúbico ( $g/m^3$ ), pero en casos extremos, las condiciones a la entrada pueden variar entre 0,1 a más de 230  $g/m^3$ .
- d. Otras consideraciones:** El contenido de humedad y de materiales corrosivos son las principales características de la corriente gaseosa a ser consideradas durante el diseño. Los filtros bien diseñadas y operadas, son capaces en algunos casos de alcanzar concentraciones de salida de menos de 0,05  $gr/m^3$  y en un cierto número de casos, hasta tan bajo como de 0,002 a 0,011  $gr/m^3$ . En Chile, en aplicaciones en hornos de vidrio con oxi- combustión se han observado niveles tan bajos como 8  $mg/m^3N$ .

### **5.1.2.4 Requisitos de pretratamiento de las emisiones.**

Debido a la amplia variedad de tipos de filtros disponibles, por lo general no se requiere disminuir la temperatura de entrada de la corriente contaminante.

Sin embargo, en algunas aplicaciones a altas temperaturas, el costo de las mangas capaces de resistir tales condiciones debe ser contrastado con el de bajar la temperatura de entrada utilizando enfriadores por aspersión o aire de dilución.

Si no se usan mangas especiales, en las aplicaciones en hornos de vidrio y fritas es necesario tratar los gases de escape con carbonato de calcio (seco) para evitar la formación de ácido fluorhídrico o sulfúrico.

### **5.1.2.5 Ventajas.**

- En general, los filtros de manga proporcionan altas eficiencias de filtrado tanto para partículas gruesas como para las de tamaño fino (sub-micrónicas).
- Son relativamente insensibles a las fluctuaciones en la corriente de gas.
- La eficiencia y la caída de presión son relativamente invariables a fuertes cambios en la carga inicial de polvo.
- El aire a la salida del filtro es bastante limpio y en muchos casos puede ser recirculado a la planta (para la conservación de energía).
- El material se recolecta seco para su procesamiento subsecuente o disposición.
- Normalmente no se tienen problemas de corrosión ni de oxidación en sus componentes.
- Su operación es relativamente simple.
- Puesto que no existe el riesgo de altos voltajes, el mantenimiento y las reparaciones se simplifican, pudiera recolectarse polvo inflamable, siempre con los cuidados convenientes.

### **5.1.2.6 Desventajas.**

- Para temperaturas muy por encima de los 290 °C, se requiere el uso de telas metálicas o de mineral refractario, las cuales pueden resultar muy caras.
- Para ciertos tipos de polvos, se pueden requerir telas tratadas para reducir la dispersión de los polvos o para ayudar en la recolección de los mismos.
- La tela puede arder si se recolecta polvo de material rápidamente oxidable.
- Los filtros de manga requieren de un mantenimiento muy alto (por ejemplo, reemplazo frecuente de las mangas).
- La vida de la tela puede acortarse a temperaturas elevadas y en presencia de constituyentes del gas o partículas ácidas o alcalinas, como es el caso de los gases provenientes de los hornos de fritas.
- Se pudiera requerir protección respiratoria para el personal de mantenimiento al reemplazar la tela.
- Se requiere una caída de presión mediana, típicamente en el rango de 100 a 250 mm de columna de agua.

### **5.1.2.7 Aplicación en la industria del vidrio.**

Debido a su menor costo de adquisición, los filtros de manga son recomendables en industrias tanto pequeñas como medianas, no obstante también pueden y son usados en empresas de gran producción.

Los problemas que presenta su aplicación en la industria del vidrio son debido a la necesidad de mantener un riguroso control de la temperatura de los gases, tanto para

evitar temperaturas muy altas, que podrían llegar a quemar las mangas, como muy bajas, que provoquen la formación de condensados (130 °C punto de rocío) haciendo pegarse el polvo captado a la tela saturándola o formando ácido fluorhídrico o sulfúrico.

Por otro lado es necesario un tratamiento previo de los gases de escape con carbonato de calcio, que prevenga todo lo posible la formación de ácido fluorhídrico o sulfúrico.

La ventaja del filtro de mangas, es que al ser un sistema de captación seco no genera residuos líquidos, que deban ser tratados.

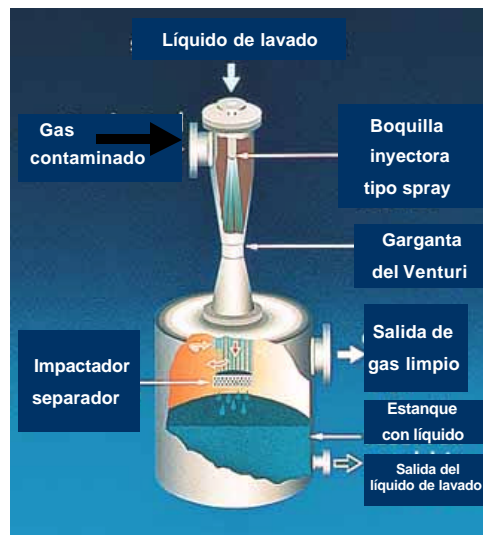
### 5.1.3 Venturi scrubber.

Un scrubber tipo venturi acelera el gas contaminado para atomizar el líquido utilizado en la limpieza y aumentar el contacto del gas (Figura 5.2).

Un scrubber tipo venturi, consiste básicamente en un ducto con una sección más estrecha denominada "garganta", la cual fuerza al caudal de gas a acelerarse para luego expandirse. A medida que el gas entra en la garganta, tanto su velocidad como su turbulencia aumentan.

El líquido de lavado es entonces atomizado en pequeñas gotas por la turbulencia en la garganta aumentando la interacción entre partículas y gotas.

Figura 5.2 Venturi scrubber



Fuente: Clean Air tech 1999.

#### 5.1.3.1 Tipo de contaminante abatido.

Los scrubbers tipo venturi son principalmente utilizados para controlar material particulado (MP), incluyendo material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{10}$ ), así como MP menor o igual a 2.5  $\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{2.5}$ ). Aunque tienen alguna capacidad incidental de control de los compuestos orgánicos volátiles (VOC), en general los scrubbers tipo venturi se limitan al control de MP y gases altamente solubles.

### **5.1.3.2 Eficiencias de reducción.**

Los scrubbers tipo venturi pueden tener eficiencias de recolección que van desde un 70 a un 99 por ciento, dependiendo de la aplicación. Las eficiencias de recolección son en general más altas para material particulado con diámetros comprendidos entre 0,5 a 5  $\mu\text{m}$ .

### **5.1.3.3 Rangos de operación.**

- a. **Caudal de aire:** Los caudales típicos de un scrubber tipo venturi de una sola garganta es de 0.2 a 28 [m<sup>3</sup>/s].
- b. **Temperatura:** La temperatura de los gases de entrada generalmente se encuentran en el rango de entre 4 a 370°C.
- c. **Concentración de entrada:** La concentración de los contaminantes puede encontrarse en el rango de 1 a 115 [gr/m<sup>3</sup>N].
- d. **Otras consideraciones:** En situaciones donde los gases contaminados contienen tanto material particulado como gases, los scrubber tipo venturi son a veces utilizados como un equipo de pretratamiento, para remover el MP y así prevenir que éste sature el equipo que se encuentra aguas debajo de la "corriente de contaminantes".

### **5.1.3.4 Requisitos de pretratamiento de las emisiones.**

En general, no se necesita pretratamiento de los gases de entrada para los scrubber tipo venturi, sin embargo, en algunos casos los gases de entrada son mojados para reducir la temperatura, cuando el material del cual esta hecho el venturi puede ser afectado.

### **5.1.3.5 Ventajas.**

- Nivel de mantención relativamente bajo.
- Diseño simple y fácil instalación.
- Puede ser variada su eficiencia de recolección .
- Proveen enfriamiento para los gases calientes.
- Puede neutralizar gases y polvos corrosivos.

### **5.1.3.6 Desventajas.**

- Los efluentes líquidos pueden crear problemas de contaminación de aguas.
- Los residuos son recolectados húmedos.
- Potencial alto para problemas de corrosión.
- El MP recolectado puede estar contaminado y no ser reciclable.
- La disposición de los lodos residuales puede ser muy cara.



### **5.1.3.7 Aplicación en la industria del vidrio.**

Existen antecedentes de la utilización de este tipo de equipos en Chile, no obteniéndose buenos resultados de captación, lo que obligó a su reemplazo por equipos de captación secos.

Otro inconveniente de éste tipo de tecnologías y de las húmedas en general, es la necesidad de tratamiento de los residuos líquidos que producen, los cuales pueden contener metales pesados.

## **5.2 CONTROL DE RESIDUOS LÍQUIDOS**

Los principales contaminantes presentes en los residuos industriales líquidos son:

- aceites y grasas
- metales pesados

El residuo líquido que aporta metales pesados es, principalmente, el proveniente de equipos de control de la contaminación atmosférica que emplean sistemas de captación húmeda de los contaminantes.

Puesto que el RIL a tratar puede presentar diversos metales pesados (plomo, cadmio, zinc, cobre, bario, etc.) es que se sugiere emplear tecnologías que permitan tratar un amplio espectro de contaminantes.

Como resultado del tratamiento de los metales pesados se genera un lodo que requiere que se remueva, in situ, el mayor contenido de agua. Después este lodo concentrado debe ser manejado, por el contenido de metales pesados, como un residuo peligroso desde su almacenamiento temporal dentro de la fábrica hasta su disposición final.

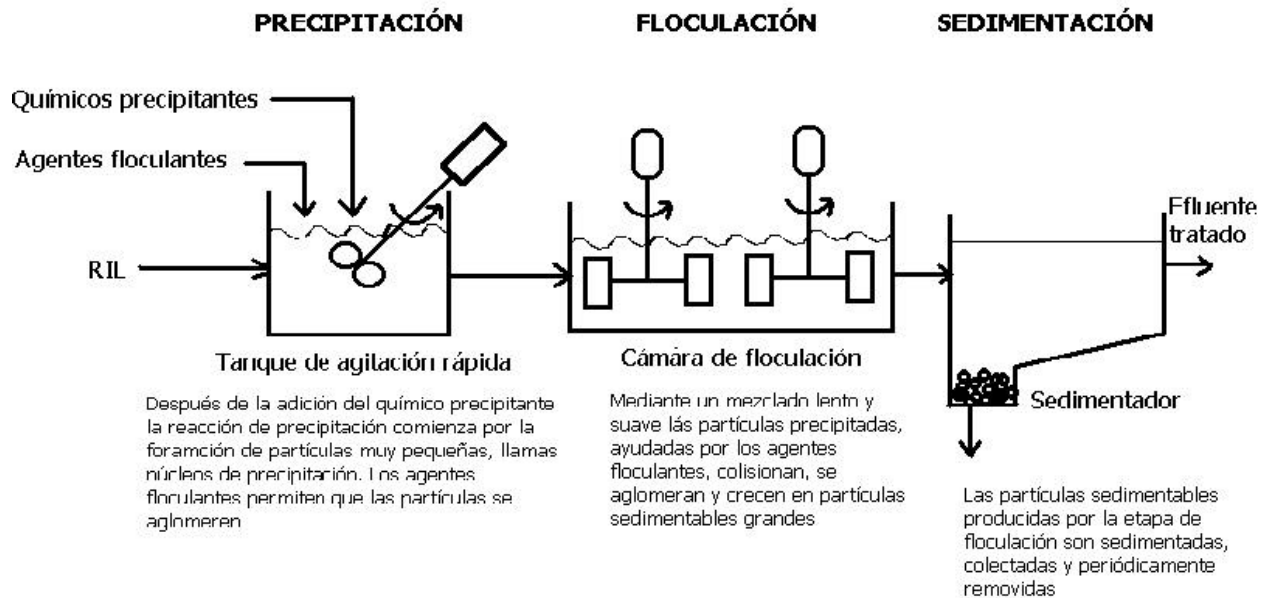
Puesto que los RILES con metales pesados se generan solo en los equipos de control de la contaminación atmosféricos, es relevante para su tratamiento considerar los beneficios de segregar estos residuos líquidos de otros, a objeto de reducir los costos de inversión.

Los procesos para tratar los metales pesados de los residuos industriales líquidos en la industria pueden comprender la casi totalidad de las siguientes etapas:

- Precipitación (formación de las sales insolubles)
- Coagulación
- Floculación
- Separación sólido – líquido
- Ajuste de pH
- Deshidratación de lodos
- Disposición de lodos residuales

En la figura N° 5.3 se indica el diagrama de flujo del tratamiento, sin ajuste de pH.

**Figura N° 5.3**  
**Proceso de tratamiento de metales pesados**



Fuente: elaboración propia a partir de Cheremisinoff, Paul., "Handbook of water and Wastewater treatment technology".1995. Marcel Dekker, Inc

### 5.2.1 Reducción de la carga de metales pesados

Existe un número reducido de tecnologías empleadas de manera regular (precipitación/filtración, intercambio iónico, osmosis reversa, evaporación) para reducir la carga contaminante de metales pesados, de las cuales la más sugerida para el tratamiento de RILES es la precipitación.

Se revisaron otras tecnologías que están en etapa de desarrollo, de estas se considera relevante presentar por su versatilidad en tratar mezcla de metales pesados, la electrocoagulación.

#### 5.2.1.1 Precipitación

En general, la precipitación química depende de una serie de variables:

- la mantención de un pH alcalino durante la reacción de precipitación y la sedimentación subsecuente
- la adición de un exceso suficiente de iones para conducir la reacción en forma completa

- la adición de un adecuado suministro de iones (tales como hierro o aluminio) para asegurar la precipitación y remoción de iones objetivos específicos
- La remoción efectiva de sólidos precipitados

El tipo de reactivo a utilizar deberá cumplir entre otras con las siguientes características:

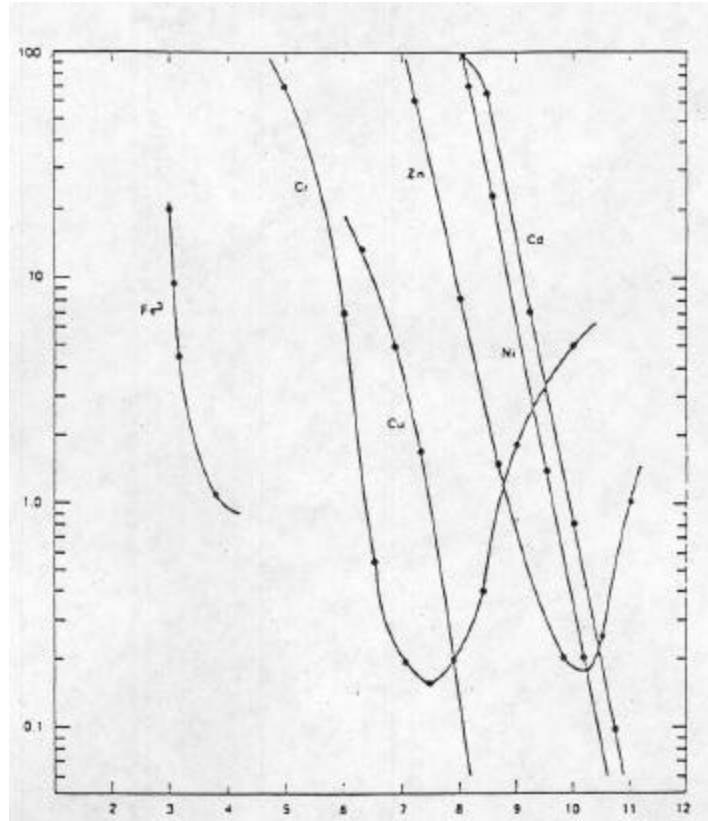
- Los nuevos iones que se introduzcan en el residuo a tratar deberán ser inocuos, no produciendo en consecuencia ningún otro tipo de contaminación
- El producto de solubilidad de la sal formada debe ser lo más bajo posible, con el fin de que la concentración final del contaminante a eliminar sea la mínima posible
- De coste reducida
- Fácil de conseguir en el mercado
- Fácil de preparar, manejar, bombear, etc.

La conversión de los metales pesados a hidróxidos, cuyos productos de solubilidad suelen ser lo suficientemente bajos es la forma más económica de precipitarlos, en la cual la cantidad de iones de metales pesados remanentes en solución está estrechamente relacionada al pH de la solución. Esta cantidad está determinada por la solubilidad del producto de los hidróxidos, la que varía considerablemente dependiendo del tipo de metal pesado. Una medida aproximada del pH óptimo para iones de metales pesados típicos, se presenta en las figuras N° 5.4 y 5.5.

Los diferentes metales pesados tienen unos valores del producto de solubilidad mínimo a valores de pH diferentes, lo que lleva consigo que en la precipitación de los mismos se tenga muy en cuenta este factor a la hora de fijar el punto final de la precipitación. Por otra parte algunos metales pesados tienen carácter anfótero, lo que presupone que valores de pH elevados dan lugar a la redisolución del hidróxido previamente formado.

La solubilidad de la cal es de 1.131 g/l a 10 ° C, disminuyendo a medida que aumenta la temperatura. La dosificación se lleva a cabo en consecuencia en forma de lechada, en una concentración variable entre el 5% y el 12%, debiendo tenerse muy en cuenta, que a menor concentración, mayor facilidad de bombeo, menor abrasión y riesgo de obstrucción de las líneas, presentando el inconveniente de necesitar un mayor caudal. En aquellos casos en que se utilicen grandes cantidades de cal en la neutralización, la dosificación puede llevarse a cabo en forma sólida, precisando en estos casos de un mayor tiempo de retención, al tratarse de una reacción sólido - líquido.

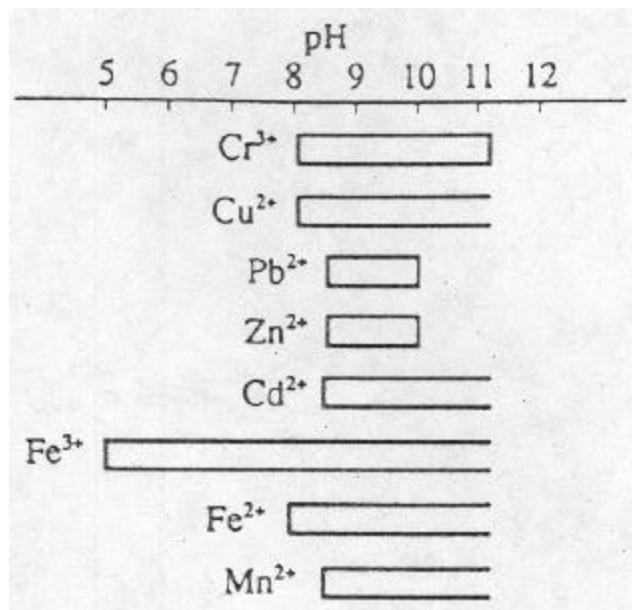
**Figura N° 5.4 Solubilidad de los metales pesados (mg/l) con respecto al pH**



*unidades de pH*

Fuente: Metal Finishing Waste. EPA Technology/Transfer. U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.

**Figura N° 5.5**  
**Rango de pH a la cual los metales pesados precipitan**



Fuente: Japan Environmental Management Association for Industry (JEMAI).1989. "Industrial Pollution Control" Brainwork Inc. Tokyo Japan

La gran ventaja de la cal como agente neutralizante es su bajo precio, facilidad de manejo y fácil compra en cualquier lugar. La mayor problemática de su utilización radica en su baja velocidad de reacción, así como su utilización en forma de lechada.

La sosa cáustica es otro de los agentes usados debido fundamentalmente a su elevada velocidad de reacción, lo que redunda en equipos más pequeños, así como su gran solubilidad en agua, lo que permite su dosificación en forma líquida a cualquier concentración, siendo en consecuencia su dosificación mucho más simple que en el caso de la cal.

La precaución de su manejo es uno de los factores más negativos de su utilización. Los compuestos que se forma en las reacciones de neutralización con sosa son solubles. A diferencia de la cal que reacciona con un gran número de aniones que dan origen a sales insolubles (carbonatos, fosfatos, sulfatos, fluoruros, etc.)

El tipo de reactores a utilizar suele ser de forma cilíndrica, provistos de contracorrientes, con el fin de romper el vórtice producido por la agitación, y no perder rendimiento en ésta. Con el fin de facilitar el rápido contacto del residuo con reactivo, es imprescindible disponer de una buena agitación. Este proceso de precipitación puede llevarse a cabo tanto de forma continua así como en operaciones por cargas.

Aún cuando la configuración del proceso empleando sosa cáustica varía como función del tipo de residuo, el volumen, y el pH del RIL, un sistema típico emplea dos reactores. La primera etapa es empleada para la adición del reactivo y su mezcla, mientras que el segundo es para ajustar el pH. Para un control adecuado del proceso, el intervalo de tiempo entre la adición de la sosa cáustica y el cambio de pH inicial debe ser menor al 5% del tiempo de residencia en el reactor.

A veces, bajo la acción de agentes de precipitación sódicos y cálcicos, los metales forman óxidos y carbonatos que son demasiado solubles. En estos casos, se puede utilizar sulfuro sódico u otros sulfuros después de una primera etapa de precipitación. Los iones sulfuro residuales pueden ser eliminados mediante la adición de sales férricas.

En la tabla N° 5.2 se indica para que metales pesados es efectiva cada técnica de precipitación.

**Tabla N° 5.2**  
**Efectividad de remoción de metales pesados**  
**para diferentes técnicas**

<b>Metal pesado</b>	<b>Precipitación con hidróxidos</b>	<b>Precipitación con sulfuros</b>	<b>Precipitación <sup>1</sup> con carbonatos</b>
Arsénico	+		
Cadmio	+	+	+
Cromo <sup>+3</sup>	+		
Cobre	+	+	
Cobalto		+	
Estaño		+	
Hierro	+	+	
Manganeso	+	+	
Mercurio		+	
Níquel	+	+	+
Plata		+	
Plomo	+		+
Zinc	+	+	

<sup>1</sup> Requiere un pH un poco menor al requerido por las otras 2 técnicas

Fuente: elaboración propia a partir de Cheremisinoff, Paul., "Handbook of water and Wastewater treatment technology".1995. Marcel Dekker, Inc.

En la tabla N° 5.3 se indican características de las técnicas de precipitación.

**Tabla N° 5.3**  
**Características de las técnicas de precipitación**

Técnica de precipitación de metales pesados	Características
Como hidróxido	Es el método de precipitación más común Cal u otros materiales cáustico son típicamente empleados para este propósito Algunos metales pesados son anfotéricos. Por esto su solubilidad alcanza un mínimo a un pH específico (diferente para cada metal)
Como carbonatos o sulfuros	La precipitación de los metales pesados como carbonatos está sujeta a las mismas restricciones como hidróxidos La precipitación como sulfuros tiene la ventaja de producir una baja concentración residual en el RIL debido a una mucho menor solubilidad de los sulfuros Los lodos de sulfuro son más difíciles de desaguar que los lodos de hidróxido Los vapores de sulfuro son tóxicos

Fuente: elaboración propia a partir de Chermisnoff, Paul., "Handbook of water and wastewater treatment technology". 1995. Marcel Dekker, Inc.

En la tabla N° 5.4 se indican las características de la precipitación de ciertos metales pesados.

**Tabla N° 5.4**  
**Características de la precipitación de ciertos metales pesados**

Metal pesado	Características de la precipitación
Arsénico	<ul style="list-style-type: none"> <li>El arsénico puede ser removido por precipitación como sulfuro a través de la adición de sulfuro de sodio o sulfuro de hidrógeno al RIL. La concentración del efluente tratado es de 0,05 mg/l</li> <li>El arsénico puede ser también removido por coprecipitación con <math>FeCl_3</math> cuando se forman flóculos de <math>Fe(OH)_3</math>. La concentración del efluente tratado es de 0,005 mg/l</li> </ul>
Bario	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puede ser removido mediante la precipitación como sulfato añadiendo cualquier fuente de iones de sulfato</li> <li>La solubilidad del sulfato de bario es 1,4 mg/l</li> <li>Igual es posible obtener concentraciones de bario residual menores (0,5 mg/l) usando exceso de iones sulfatos</li> </ul>
Cadmio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puede ser removido mediante precipitaciones con carbonato. El pH requerido en este caso esta entre 7,5-8,0. La concentración en el efluente es comparable con la obtenida a través de la precipitación a alto pH</li> <li>El cadmio puede ser removido mediante precipitación como hidróxido a un pH que va de 8 (solubilidad: 1 mg/l) a 11 (solubilidad: 0,05 mg/l)</li> <li>El cadmio puede ser removido mediante precipitación con sulfuro. La concentración del efluente es de 0,05 mg/l</li> <li>El cadmio puede ser también removido por coprecipitación a pH 6,5 con <math>FeCl_3</math> cuando se forma flóculos del <math>Fe(OH)_3</math></li> </ul>
Plomo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puede ser removido por precipitación como hidróxido (cal) a pH 11,5. La concentración del efluente es de 0,02-0,2 mg/l</li> <li>Puede ser removido por precipitación como sulfuro a pH 7,5-8,5</li> </ul>

Metal pesado	Características de la precipitación
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede ser también removido por precipitación como carbonato. El pH requiere en este caso está entre 7,5-8,5. El concentración del efluente es comparable a aquella obtenida a través de la precipitación de hidróxidos a un alto pH</li> </ul>
Mercurio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede ser removido mediante precipitación como sulfuro a través de la adición de sulfuro o sulfuro de hidrógeno a RIL. La concentración del efluente a 0,01 mg/l</li> <li>• Puede ser removido mediante coprecipitación con alúmina. La concentración del efluente es de 0,001-0,01 mg/l</li> <li>• Puede ser removido mediante coprecipitación con FeCl<sub>3</sub> cuando es formado un flóculo de Fe(OH)<sub>3</sub>. La concentración del efluente es de 0,00005-0,005 mg/l</li> </ul>

Fuente: elaboración propia a partir de Chermisinoff, Paul., "Handbook of water and wastewater treatment technology".1995. Marcel Dekker, Inc.

### Electrocoagulación

Este sistema se ha desarrollado para remover los metales disueltos presentes en un amplio rango en el agua, incluyendo, arsénico, bario, cadmio, plomo y zinc. Debido a que puede tratar metales adheridos a material suspendido de la solución, se puede emplear en RILES.

Se han realizado ensayos a una escala de 7 galones por minuto. El RIL es pasa por un tamiz para retirar aquellos sólidos de tamaño que pueden ocluir o dañar el equipo. Luego el agua es tratada para ajustar la acidez (pH), el potencial redox y la conductividad, para alcanzar una eficiencia máxima de remoción para un RIL y contaminantes específicos. A continuación, el agua pasa a través de los tubos de electrocoagulación, que consisten en un tubo de material con propiedades de ánodo que rodea un tubo de material con propiedades de cátodo, dejando un espacio anular entre los tubos. El tiempo de retención típico es menor a 20 segundos. A medida de que el RIL pasa a través del espacio anular, los contaminantes coagulan con el metal y los cationes del hidróxido de metal salen de los tubos para formar un flóculo. Estos flóculos son retirados en un clarificador. Se puede usar polímeros para aumentar la floculación.

Los flóculos son retirados con una bolsa filtrante. Los flóculos desaguados no requieren de una estabilización para cumplir, con el característico procedimiento de lixiviación.

#### **5.2.1.2 Coagulación**

A pesar de que la mayoría de las aplicaciones de precipitación usan hidróxido de metal alcalino o óxidos de metal de tierra alcalina como agentes precipitantes, otras sales de metal tales como Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, CaCl<sub>2</sub> o FeSO<sub>4</sub> puede ser usado para coagular partículas coloidales para formar precipitados.



### **5.2.1.3 Floculación**

Si la cantidad de sólidos formados es baja, su decantación se llevaría a cabo a velocidades de sedimentación bajas, y debido a que los hidróxidos suelen tener un carácter higroscópico, formando unos flóculos muy esponjosos, se da una mala decantación.

Con el fin de aumentar la velocidad de decantación así como la concentración de los lodos a purgar, es práctica habitual la dosificación de un polielectrolito sintético de alto peso molecular.

### **5.2.1.4 Separación sólido líquido (remoción carga sólidos suspendidos)**

Como resultado de la formación de precipitado se obtiene un agua con los sólidos en suspensión formados en la precipitación del metal pesado en forma de hidróxido, que deben ser eliminados antes de su vertido final tanto si se lleva a cabo en cauce receptor como al alcantarillado.

Los sólidos suspendidos se separan de la corriente residual mediante técnicas tales como:

- Sedimentación
- Flotación
- Centrifugación
- Filtración

No se puede llevar a cabo por medio de ningún método una separación sólido/líquida perfecta (líquido claro y sólido totalmente seco), es necesario una combinación de dispositivos para alcanzar de forma económica el grado deseado de separación. Los procesos más comunes incluyen las siguientes etapas:

- Separación de sólidos y líquidos, mediante sedimentación o flotación
- Clarificación de la corriente líquida obteniendo un efluente líquido muy claro
- Deshidratación para reducir la humedad contenida en los sólidos

La técnica más común es la sedimentación, técnica que separa los sólidos en suspensión por gravedad del líquido.

Uno de los principales objetivos al diseñar equipos de sedimentación (circulares o rectangulares) es crear una estabilidad de manera que las partículas en suspensión con una densidad mayor que la del líquido se sedimenten. Los tanques de sedimentación deben separar una gran variedad de sólidos en suspensión.

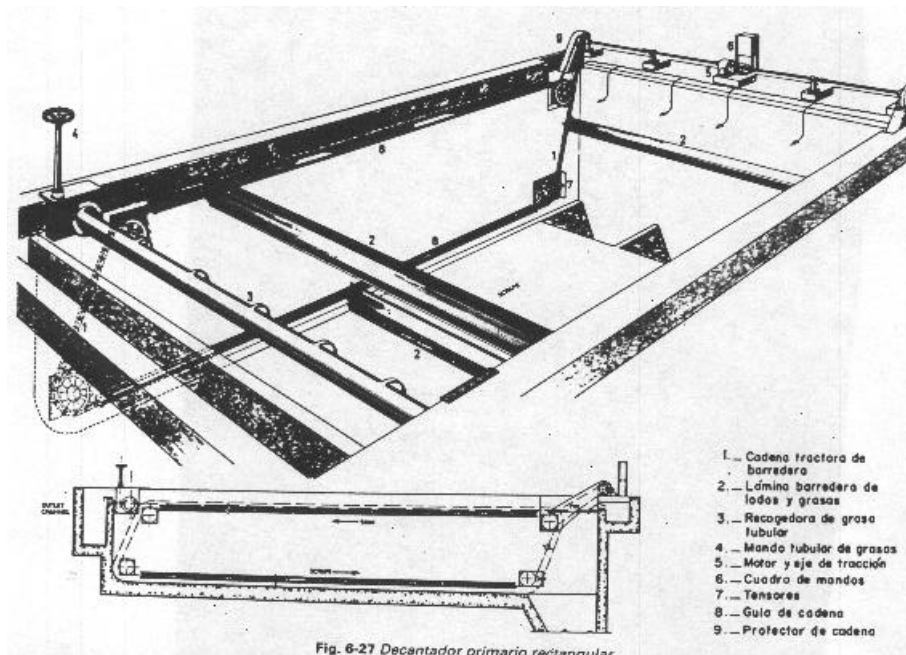
Los sistemas de alimentación de un sedimentador deben permitir la distribución del flujo entrante a través de la sección transversal del tanque, minimizando

simultáneamente los "cortocircuitos" y las turbulencias. Consecuentemente, las velocidades de alimentación deben mantenerse lo más bajas que sea posible.

Los sistemas de alimentación en los estanques circulares de sedimentación pueden ser centrales, en cuyo caso el efluente se conduce al centro del tanque a través de un conducto. El diseño de los sistemas de alimentación de los tanques rectangulares, en los que la distancia de la entrada a la salida es grande, es menos crítico que en el caso de los estanques circulares. En la figura N° 5.6. se muestra un sedimentador rectangular.

El rebose del sedimentador es un efluente completamente claro que puede verterse directamente al medio si cumple con las normativas, o puede someterse a tratamiento previo antes del vertido. Cuando el contenido de sólidos del efluente no cumple la normativa ambiental, será obligatoria una etapa de filtración (por ejemplo, filtro de arena).

Figura N° 5.6  
Sedimentador rectangular



### 5.2.1.5 Ajuste de pH

Dependiendo del pH en que se realice la precipitación de los metales pesados, puede ser necesario un reajuste de pH del agua antes de su vertido.

### 5.2.1.6 Deshidratación de lodos

Las separaciones sólido/líquido eliminan el agua hasta un punto en el que los sólidos, bajo la forma de un lodo, en cierta forma aún se comportan como líquidos. La técnica más utilizada para deshidratar los lodos es la filtración.

La filtración de lodos implica la utilización de un medio poroso, como una tela, que permite el paso de líquidos pero no de sólidos. Los equipos de filtración más empleados son:

- Filtro prensa
- Filtro banda
- Filtro rotatorio a vacío

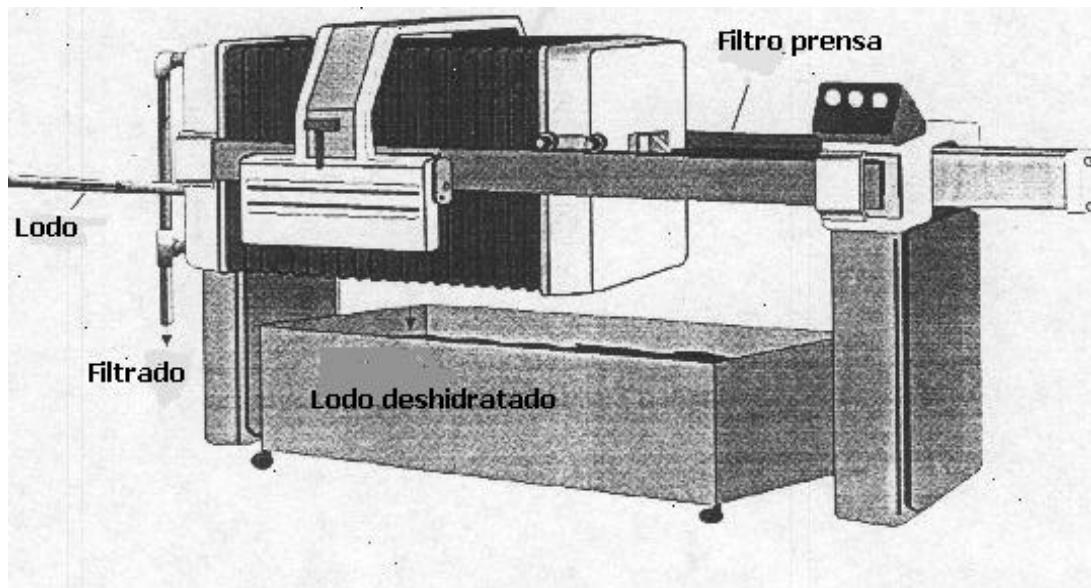
El filtro rotatorio no se comporta bien con lodos ligeros, como algunos hidróxidos metálicos, aún después de su acondicionamiento químico. El lodo no se pega bien al paño del filtro y los poros del tejido se colmatan demasiado rápidamente. La creación de un lecho filtrante previo puede mejorar el funcionamiento, pero presenta un coste substancial.

El filtro de banda se comporta mejor con los lodos difíciles que el filtro rotatorio.

El filtro prensa deshidrata la mayoría de los lodos y produce una torta más seca (entre el 40-60%) que la que se obtiene por cualquier otro proceso mecánico.

En la figura N° 5.7 se muestra un filtro de prensa

**Figura N° 5.7**  
**Filtro prensa para deshidratar los lodos**



#### **5.2.1.7 Disposición de lodos residuales**

El fango parcialmente deshidratado generalmente es el producto final del proceso y es enviado a depósito de seguridad adecuado

#### **5.2.1.8 Remoción de aceites y grasas**

Para abatir la carga de aceites y grasas no se sugiere emplear otro equipo, sino que dotar al sedimentador de barredoras superficiales que retiren el material que se separa por flotación.

### **5.3 MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS**

Del estudio de generación de residuos sólidos se tiene los siguientes residuos y sus destinos :

- Lodos (como resultado del control de RILES), polvo, escoria de fundición y cenizas de incinerador a Depósito de Seguridad

- Residuos sólidos no peligrosos (Ladrillo refractario, Papel y cartón, Madera, Metales y chatarra, Residuos de construcción, Residuos sólidos asimilables a domésticos, Textiles y cueros, Plásticos, piezas defectuosas (scrap)) a Relleno Sanitario
- Aceite (como resultado de la mantención de los equipos mecánicos) a Depósito de Seguridad

**Relleno Sanitario:** Es una obra de ingeniería, destinada a disposición final de residuos y consiste en el confinamiento en el suelo de los residuos sólidos. Básicamente un relleno sanitario opera depositando las basuras en capas sucesivas, las cuales son compactadas y al final de la jornada esta basura es cubierta o tapada con tierra, llamada material de cobertura, de manera de impedir la pérdida de residuos, asegurando su confinamiento y disminuyendo su impacto sobre el medio. Los rellenos sanitarios cuentan a su vez con sistemas y sistemas de operación que disminuyen la posibilidad de impactos al suelo y eventuales napas subterráneas. Para enviar los residuos sólidos a rellenos sanitarios se debe contar con la autorización sanitaria correspondiente (en el caso de Santiago, dicha autorización la otorga el Proceff) y el relleno en si debe ser un sitio autorizado.

**Depósito de Seguridad:** Para los residuos que sean denominados peligrosos, según lo que diga el Borrador de Reglamento de Manejo sanitario de residuos peligrosos del Ministerio de Salud, y a los cuales ya se les haya sometido a tratamientos, la disposición final debe ser realizada en depósitos de seguridad, que consiste en un relleno sanitario, pero con mayores controles tanto en el diseño y operación. El esquema de las características mínimas de un depósito de seguridad esta descrito claramente descrita en el ya mencionado reglamento del Ministerio de Salud<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> **Artículo 48**

*Un **Relleno de Seguridad** es una Instalación de Manejo de Residuos Peligrosos destinada a la disposición final de residuos peligrosos en terreno, en forma permanente o por períodos indefinidos; diseñada, construida y operada cumpliendo los requerimientos específicos señalados en el presente párrafo, así como los requisitos generales señalados en el Párrafo I del presente Título V.*

## 6. PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS

Un **Plan de Manejo de Residuos Peligrosos (PMRP)** tiene por objetivo la definición de procedimientos y planificación de actividades relacionadas con el manejo de los residuos peligrosos, desde su generación hasta su disposición final o eliminación, de forma tal de resguardar la salud de las personas y minimizar los impactos al ambiente.

La Unidad de Proyectos de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, encargó durante 1998–1999 un trabajo de **“Elaboración de guías metodológicas de procedimiento, para la confección y revisión de planes de manejo de residuos peligrosos”** (CONAMA, 1999b), dicha guía estableció procedimientos para la elaboración de un Plan de Manejo de Residuos Peligrosos.

### 6.1 APLICABILIDAD DE PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS

Refiriéndose al documento del Ministerio de Salud (MINSAL, 1998) se tiene que el esquema de decisión para determinar la pertinencia o no del PMRP es el siguiente:



Figura 6.1: Aplicabilidad de PMRP

Un **generador** tendrá que realizar un **PMRP** tanto si genera 12 o más kg/año de **residuos peligrosos tóxicos agudos** y/o si produce 12.000 o más kg/año de **residuos peligrosos**

#### 6.1.1 Concepto residuo peligroso

El artículo 5 del Reglamento del Ministerio de Salud (MINSAL, 1998) define: *“Un residuo o una mezcla de residuos se considerará como peligroso si en función de sus características de peligrosidad: **toxicidad aguda, toxicidad crónica, toxicidad por lixiviación, inflamabilidad, reactividad y/o corrosividad**, puede presentar riesgo para la salud pública, provocando o contribuyendo al aumento de la mortalidad o a la incidencia de enfermedades y/o presentando efectos adversos al medio ambiente cuando es manejado o dispuesto en forma inadecuada”*.

### 6.1.2 Procedimiento de determinación de residuos peligrosos

Los residuos peligrosos pueden venir casi en cualquier forma, haciendo dificultosa la determinación. Es posible encontrarlos en formas de líquido, semi sólido, sólido, o lodos. Pueden haber una serie de consideraciones prácticas que pueden ayudar a la determinación de la condición de peligrosidad. Existen dos aproximaciones en la definición de residuo peligroso:

**a) Identificación por Listado:** El sistema de listado exhibe listados de sustancias específicas o procesos específicos.

**b) Identificación Analítica:** Se identifican cuatro características para residuos peligrosos: toxicidad por lixiviación, corrosividad, reactividad e inflamabilidad. Para cada uno de ellos existen ensayos de laboratorios adoptados, los cuales están basados en la normativa de Estados Unidos (SW-846).

### 6.2 APLICACIÓN AL RUBRO

Se debe determinar primero si existen residuos peligrosos y después determinar la cantidad de los mismos. En base a lo anterior un análisis tipo que debería hacer el generador de residuos en el rubro de Cerámica es:

- (a) Identificación de Materias Primas
- (b) Identificación de Residuos
- (c) Clasificación de Residuos (Peligrosos o no)
- (d) Cualificación

Las materias primas utilizadas y los tipos de residuos ya han sido definidos en los capítulos 2 y 3 de esta guía. Es necesario revisar los puntos (c) y (d) para evaluar la aplicabilidad del un PMRP en este rubro. Los principales residuos y su relación con los residuos peligrosos son:

Tabla 6.1: Relación de Residuos "Típicos" con Residuos Peligrosos

Materia Prima	Listado		Analítico CMP <sup>4</sup>
	Listado Y	Tóxicos <sup>3</sup>	
Vidrios			
Polvo <sup>5</sup>	Y18 <sup>6</sup> – Y48 <sup>7</sup>	✓ <sup>8</sup>	✓ <sup>9</sup>
Plásticos			

<sup>3</sup> Ver Anexos II y III Borrador de Reglamento de Manejo de Residuos Sanitarios de Residuos Peligrosos (Minsal, 1998)

<sup>4</sup> Toxicidad por lixiviación.

<sup>5</sup> incluye el polvo generado en dispositivos de control de la contaminación

<sup>6</sup> Y18: Residuos resultantes de las operaciones de eliminación o tratamiento de residuo, tales como lodos, filtros, polvos, etc.

<sup>7</sup> Y48: Partículas o polvos metálicos

<sup>8</sup> Puede contener Vanadio, Níquel, Cromo, Selenio, Plomo, Cadmio, Antimonio, Arsénico. Revisar listado Y (artículo 6, Borrador Reglamento Residuos Peligrosos, Minsal 1998)

<sup>9</sup> Puede contener Cromo, Selenio, Plomo, Cadmio, Arsénico.

Materia Prima	Listado		Analítico CMP <sup>4</sup>
	Listado Y	Tóxicos <sup>3</sup>	
Escoria de fundición			
Papel y cartón			
Madera			
Metales y chatarra			
Residuos de construcción			
Residuos sólidos asimilables a domésticos			
Cenizas de incinerador	Y18- Y48		
Residuos aceitosos	Y9 <sup>10</sup>		

En particular para las materias primas se tiene lo siguiente

Tabla 6.2: Relación de Materias Primas con Residuos Peligrosos

Materia Prima	Listado	Analítico CMP <sup>11</sup>
	Listado Y	
Alúmina		
Arsénico	Y24 <sup>12</sup>	TL1
Bórax		
Bórax		
Caliza		
Carbonato de magnesio		
Carbonato litio		
Ceniza de soda		
Cerio		
Circonio		
Cromo	Y21 <sup>13</sup>	TL2
Feldespatos		
Fluorespatos		
Hierro		
Litio aluminosilicato		
Nitratos		
Opacificantes		
Oro		
Óxido bórico		
Oxido de aluminio		
Óxido de aluminio		
Óxido de antimonio	Y27 <sup>14</sup>	
Óxido de calcio		
Óxido de cerio		
Oxido de cobalto		
Oxido de cobre	Y22 <sup>15</sup>	
Óxido de hierro		

<sup>10</sup> Y9: Mezclas y emulsiones de desecho de aceite y agua o hidrocarburos y agua.

<sup>11</sup> Toxicidad por lixiviación.

<sup>12</sup> Y24: Arsénico, compuestos de arsénico

<sup>13</sup> Y21: Compuestos de cromo hexavalente

<sup>14</sup> Y27: Antimonio, compuestos de antimonio

<sup>15</sup> Y22: Compuestos de cobre



Materia Prima	Listado	Analítico CMP <sup>11</sup>
	Listado Y	
Óxido de magnesio		
Oxido de manganeso		
Oxido de níquel		
óxido de plomo	Y31 <sup>16</sup>	TL4
óxido de sodio		
Oxido de titanio		
óxido de zinc		
Selenio	Y25 <sup>17</sup>	TL5
Sílice		
silice álcali – bario		
Sulfatos		
Sulfitos		
Vanadio		

En base a los análisis anteriores, es pertinente considerar verificar si el generador de residuos de este rubro deba realizar un PMRP.

### 6.3 COMPONENTES PLAN DE MANEJO

Un PMRP se compone de 12 partes fundamentales.

Tabla 6.3: Componentes de un Plan de Manejo de Residuos Peligrosos

Sección	Tema	Detalle
1	Descripción de actividades	Descripción de las actividades que se desarrollan con el proceso productivo, sus flujos de materiales e identificación de los puntos en que se generan residuos peligrosos
2	Cantidad y características de residuos	Estimación de la cantidad anual de cada tipo de residuos peligrosos generados e identificación de las características de peligrosidad
3	Minimización	Plan de minimización de la cantidad y/o peligrosidad de los residuos peligrosos
4	Almacenamiento	Diseño del sitio de almacenamiento de residuos peligrosos
5	Recolección y Transporte	Definición de los procedimientos para recoger, transportar, embalar y etiquetar los residuos
6	Profesional encargado PMRP	Definición del perfil del ingeniero civil, ingeniero de ejecución o del profesional o técnico del encargado de manejo de los residuos peligrosos generados por la instalación, así como del personal encargado de operar el sistema de manejo
7	Manejo y transporte interno	Definición de los equipos, rutas y señalización que deberán emplearse para el manejo y transporte interno de los residuos peligrosos. Debiendo considerar que el equipamiento deberá ser adecuado con el volumen, peso y forma del residuo.
8	Hojas de seguridad	Hojas de seguridad para los diferentes tipos de residuos generados en la instalación
9	Capacitación	Plan de capacitación que deberán seguir las personas que laboren

<sup>16</sup> Y31: Plomo, compuestos de plomo

<sup>17</sup> Y25: Selenio, compuestos de selenio

<b>Sección</b>	<b>Tema</b>	<b>Detalle</b>
		en las instalaciones donde se manejan residuos peligrosos
10	Plan de contingencia	Plan de contingencia
11	Eliminación	Identificación de los procesos de eliminación a los que serán sometidos los residuos generados por la instalación o actividad
12	Registro PMRP	Definición de un sistema de registro de la generación de los residuos peligrosos, en donde se consigne al menos la cantidad en peso y/o volumen generada diariamente, la identificación de las características de peligrosidad del residuo e identificación del sitio en que se encuentra a la espera de transporte, tratamiento y/o disposición final

En los distintos capítulos de la guía existe información que puede ser relevante para elaborar o considerar la elaboración de un PMRP.

Tabla 6.4: Referencias para desarrollar un Plan de Manejo de Residuos Peligrosos

<b>Sección</b>	<b>Tema</b>	<b>Referencias en Guía</b>
1	Descripción de actividades	Capítulo 2
2	Cantidad y características de residuos	Capítulo 3
3	Minimización	Capítulo 4
4	Almacenamiento	Capítulo 4
5	Recolección y Transporte	Capítulo 4
7	Manejo y transporte interno	Capítulo 4
8	Hojas de seguridad	Capítulo 3–Capítulo 8
9	Capacitación	Capítulo 8
10	Plan de contingencia	Capítulo 8
11	Eliminación	Capítulo 5

## 7. ASPECTOS FINANCIEROS EN LA PREVENCIÓN Y EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN.

### 7.1 COSTOS DE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS DE CONTROL DE EMISIONES DE LA ATMÓSFERA.

#### 7.1.1 Control de material particulado.

En la tabla 7.1 se muestran los costos asociados a distintas tecnologías de control de material particulado.

Tabla 7.1 Resumen de costos de adquisición y operación para el control del MP

Tipo de Equipo	Capital \$/ [m <sup>3</sup> /s]	Ope. y mant.. \$/ [m <sup>3</sup> /s]	Anualizado \$/ [m <sup>3</sup> /s]	Costo efectividad \$/Ton
Precipitador Electrostático	30.000 – 640.000	8.500 – 95.000	10.000 - 125.000	45 – 950
Filtro de Mangas	11.000 – 320.000	6.400 – 45.000	8.500 – 105.000	40 - 370
Scrubbers	5.000 – 59.000	5.300 – 250.000	7.000 – 260.000	65 – 2.300

\$. U. S. dolar de 1995.

Fuente: EPA 1999.

En todos los equipos se han considerado, condiciones de funcionamiento convencionales.

Los costos de capitales y de operación pueden ser más altos debido a los requerimientos de materiales no corrosivos, al mayor consumo de agua y al costo de tratamiento y disposición del efluente húmedo. En la mayoría de los casos, las unidades más pequeñas que controlen corrientes residuales de baja concentración no serán tan eficientes en costo como lo será una unidad más grande que purifique una emisión con un contenido alto de contaminantes.

Para los contaminantes que requieren un nivel de control inusualmente alto o para aquéllos que requieren que las mangas de tela, o la unidad en sí, sean construidas de materiales especiales tales como felpa de Teflón o acero inoxidable, los costos tienden hacia la parte alta de los rangos presentados aquí.

#### 7.1.2 Control de emisiones de NOx.

En la tabla 7.2 se muestran los costos asociados a diversas tecnologías de control de NOx.

**Tabla 7.2 Costo de capital (C) y costo anual (A) de tecnología de control de NOx.**

	50 Ton/día (Prensado/Soplado)		250 Ton/día (Envases)		750 Ton/día (Vidrio plano)	
	C	A	C	A	C	A
	\$10 <sup>3</sup>	\$10 <sup>3</sup> /año	\$10 <sup>3</sup>	\$10 <sup>3</sup> /año	\$10 <sup>3</sup>	\$10 <sup>3</sup> /año
<b>Quemador bajo NOx</b>	265	123	695	320	1340	621 <sup>a</sup>
<b>Oxi-combustión</b>	1930	706	5070	1860	9810 <sup>a</sup>	3590 <sup>a</sup>
<b>Pre – calentamiento de reciclado</b>	188	42 <sup>a</sup>	492	110	N F	N F
<b>Horno eléctrico</b>		178		339		525
<b>SCR</b>	528	404 <sup>a</sup>	1390	769	2690	1200
<b>SNCR</b>	310 <sup>a</sup>	130 <sup>a</sup>	810	340 <sup>a</sup>	1560a	660

N F: no factible; a: No demostrado; \$: U.S. dólar.

Fuente: EPA 1999.

En la tabla 7.3 se muestra la costo efectividad de varias tecnologías de control de NOx.

**Tabla 7.3 Costo efectividad de tecnologías de control de NOx (\$/Ton NOx reducida, \$ de enero de 1994).**

	50 Ton/día (Prensado/Soplado)	250 Ton/día (Envases)	750 Ton/día (Vidrio plano)
<b>Quemador bajo NOx</b>	1680	1920	790
<b>Oxi-combustión</b>	4400	5300	2150
<b>Pre – calentamiento de reciclado</b>	890	1040	N F
<b>Horno eléctrico</b>	9900	8060	2600
<b>SCR</b>	2950	2460	800
<b>SNCR</b>	1770	2000	830

U.S. dólar.

Fuente: EPA 1999.

Debe tenerse presente, que los costos expresados aquí tienen relación solo con los costos directos de operación de los equipos, y no consideran otros ahorros indirectos que se pudieran producir. Esto es especialmente importante en el caso de la Oxi-

combustión, donde se tienen reducciones de costos adicionales debida los siguientes factores:

- Ahorros energéticos de entre un 30 y 40%.
- Menor desgaste en refractarios del horno, lo que implica disminución de los tiempos muertos de producción por operaciones de mantención.
- Menor pérdida de materia prima por arrastre durante la operación de carga del horno.
- Disminución en las emisiones de material particulado, y en los costos de disposición de residuos sólidos.

## 7.2 CONTAMINACIÓN HÍDRICA

### 7.2.1 Indicadores de costo de tecnologías de remoción de metales pesados

El costo de remoción de metales pesados se estima para dos configuraciones de equipos, con distintos resultados en cuanto a la calidad del efluente. La primera es una planta de tratamiento que considera 4 estanques, cada uno con una capacidad de  $\frac{1}{4}$  del RIL generado diariamente, que permite segregar los residuos en pequeños batch evitando las interferencias con residuos entrantes. La segunda son dos estanques, uno de acumulación y otro de tratamiento, ambos con una capacidad en volumen igual a la generación de RIL a tratar diariamente.

#### 7.2.1.1 Costo precipitación química en 4 estanques

El costo de tratamiento de un RIL con la composición que se indica en la Tabla 7.4, tiene los costos de capital y mantención y operación que se indican en la Tabla 7.5. En la Tabla 7.4 también se indica la calidad del efluente tratado y los valores exigidos para los parámetros regulados por la normativa chilena.

**Tabla 7.4 Carterización del RIL**

Parámetro	Concentración entrada (mg/l)	Concentración salida(mg/l)	D.S. 609 (mg/l)	Norma descarga a aguas marinas y continentales superficiales
Aluminio	363,666	5,580	10	10
Antimonio	116,714	7,998		
Arsénico	1,790	0,084	0.5	1
Boro	153,726	31,73	4	3
Cadmio	44,629	0,021	0.5	0.3
Cromo	1186,645	0,387	10	
Cobalto	25,809	0,254		
Cobre	1736,400	0,448	3	3
Hierro	588,910	15,476		
Plomo	211,044	0,392	1	0.5
Manganeso	26,157	0,245	4	3
Mercurio	0,300	0,050	0.02	0.01

Parámetro	Concentración entrada (mg/l)	Concentración salida(mg/l)	D.S. 609 (mg/l)	Norma descarga a aguas marinas y continentales superficiales
Molibdeno	48,403	3,403		2.5
Níquel	374,739	2,786	4	3
Selenio	0,328	0,514		
Plata	1,100	0,091		
Talio	0,461	0,026		
Estaño	1337,900	1,026		
Titanio	795,600	0,239		
Vanadio	38,57	0,037		
Itrio	0,096	0,026		
Zinc	978,16	3,900	5	20

**Tabla 7.5**  
**Costo de capital, operación y mantención**  
**de un sistema de 4 estanques para tratar**  
**un RIL de composición indicada en la Tabla 7.4**

m <sup>3</sup> /día	Costo capital <sup>1</sup> (US\$ 1989)	Operación <sup>5</sup> y mantención /año (US\$ 1989)
4.00	1038	53.580 <sup>2</sup>
38.00	3634	53.624 <sup>3</sup>
380.00	44499	58.135 <sup>4</sup>

Fuente: Elaboración propia a partir de "Detailed Costing Document for the Centralized Waste Treatment Industry". EPA 821-R-98-016

<sup>1</sup> El costo capital incluye los tanques de reacción con bombas y sistemas de alimentación de reactivo (60% cal y 40% soda), instalación, cañerías, instrumentación y controladores, e ingeniería y gastos de contingencia. No se considera los costos de terreno e impuestos. El costo de operación y mantención considera energía, mantención, reactivo y mano de obra.

<sup>2</sup> 0.004% corresponde a reactivo y 98 % mano de obra

<sup>3</sup> 0.028% corresponde a reactivo y 97.8 % mano de obra

<sup>4</sup> 3.062% corresponde a reactivo y 92.7 % mano de obra

<sup>5</sup> 2 HH por cada batch (4 al día)

### **7.2.1.2 Costo precipitación química en 1 estanque**

El costo de tratamiento de un RIL con la composición que se indica en la Tabla 7.6, tiene los costos de capital y mantención y operación que se indican en la Tabla 7.7. En la Tabla 7.6 también se indica la calidad del efluente tratado y los valores exigidos para los parámetros regulados por la normativa chilena.

**Tabla 7.6**  
**Caracterización del RIL**

Parámetro	Concentración entrada (mg/l)	Concentración salida(mg/l)	D.S. 609 (mg/l)	Norma descarga a aguas marinas y continentales superficiales
Aluminio	363.666	5.580	10	10
Antimonio	116.714	0.5167		
Arsénico	1.790	0.390	0.5	1
Boro	153.726	16.333	4	3
Cadmio	44.629	0.501	0.5	0.3
Cromo	1186.645	12.537	10	
Cobalto	25.809	0.242		
Cobre	1736.400	7.123	3	3
Iridio	51.231	3.283		
Hierro	588.910	29.533		
Plomo	211.044	0.616	1	0.5
Litio	114.430	4.030		
Manganeso	26.157	0.245	4	3
Mercurio	0.300	0.0133	0.02	0.01
Molibdeno	48.403	3.060		2.5
Niquel	374.739	2.790	4	3
Selenio	0.328	0.4817		
Plata	1.100	0.2493		
Estroncio	7.605	0.100		
Talio	0.461	0.020		
Estaño	1.337	1.0257		
Titanio	795.600	0.3353		
Vanadio	38.570	0.0261		
Zinc	978.167	3.900		20
Zirconio	1.477	2.71		

**Tabla 7.7**  
**Costo de capital, operación y mantención**  
**de un sistema de 1 estanque para tratar**  
**un RIL de composición indicada en la Tabla 7.6**

m <sup>3</sup> /día	Costo capital <sup>1</sup> (US\$ 1989)	Costo capital tanque de acumulación (US\$ 1989)	Costo capital total (US\$ 1989)	Operación <sup>5</sup> y mantención /año (US\$ 1989)
4.00	876	381	1.167	14.169 <sup>2</sup>
38.00	3.145	1.338	4.483	14.290 <sup>3</sup>
380.00	27.529	11.232	38.852	20.946 <sup>4</sup>

Fuente: Elaboración propia a partir de "Detailed Costing Document for the Centralized Waste Treatment Industry". EPA 821-R-98-016

<sup>1</sup> Consiste en un tanque de reactor (4 horas) con bombas, un sistema de alimentación de reactivo (75% cal y 25% soda) instalación, cañerías, instrumentación y controladores, e ingeniería y gastos de contingencia. No se considera los costos de terreno e impuestos. El costo de operación y mantención considera energía, mantención, reactivo y mano de obra.

<sup>2</sup> 0.035% corresponde a reactivo y 92.6 % mano de obra

<sup>3</sup> 0.336% corresponde a reactivo y 91.6 % mano de obra

<sup>4</sup> 23.1% corresponde a reactivo y 64.3 % mano de obra

<sup>5</sup> 2 HH por cada batch (1 al día)

### 7.2.1.3 Costo de reactivos empleados en la precipitación

A continuación, solo como referencia, se da en la Tabla 7.8 el costo de los reactivos químicos sugeridos para el proceso de precipitación.

Es una práctica habitual y necesaria determinar in situ cual es la eficiencia de remoción de cada uno de los reactivos utilizados, puesto que las características, tanto en concentración y composición del RIL, varía caso a caso dentro de un conjunto de industrias del mismo rubro.

**Tabla 7.8**  
**Costo de los reactivos para la precipitación de metales pesados**

Reactivo	Fórmula	Costo (UF/kilo)	% incremento en base al CaO
Oxido de calcio	CaO	0,01024	0
Hidróxido de sodio	NaOH	0,01851	81
Carbonato de calcio	CaCO <sub>3</sub>	0,01300	27
Carbonato de sodio	NaCO <sub>3</sub>	0,01418	38

Fuente: elaboración propia

### 7.2.2 Indicadores de costo de tecnologías de remoción de sólidos suspendidos

En la Tabla 7.9 se presenta los costos de capital, mantención y operación de un clarificador.

**Tabla 7.9**  
**Costo de capital, operación y mantención de un sistema de clarificación<sup>1</sup>**

m <sup>3</sup> /día	Costo capital (US\$ 1989)	Operación y mantención /año (US\$ 1989)
4.00	15178	16154
38.00	15178	16154
380.00	15178	16154

<sup>1</sup> la concentración de de entrada es de 40000 mg/l y la alimentación es de 1.02 m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup>, el lodo tiene una concentración 200000 mg/l Fuente: Elaboración propia a partir de "Detailed Costing Document for the Centralized Waste Treatment Industry". EPA 821-R-98-016

### 7.2.3 Indicadores de costo de tecnologías de deshidratación de lodos



Se presentan en la Tabla 7.10 los costos de un filtro de marco y plato, en donde el costo de capital comprende los filtros platos, la tela filtrante, bombas hidráulicas, bombas boosters neumáticas, panel de control, cañerías conectoras y plataforma soporte.

La corriente de lodos consiste en un 80% líquido y 20% sólidos (200.000 mg/l) Se asume que un 20% del volumen del RIL es tratado.

**Tabla 7.10**  
**Costo de capital, operación y mantención**  
**de un sistema de clarificación**

<b>m<sup>3</sup>/día</b>	<b>Costo capital (US\$ 1989)</b>	<b>Operación <sup>3</sup> y mantención /año (US\$ 1989)</b>
4.00	10102	19134 <sup>1</sup>
38.00	10102	19134 <sup>1</sup>
380.00	10352	19145 <sup>2</sup>

1 92.7 % mano de obra

2 92.6 % mano de obra

3 Requiere 30 minutos por batch

## **8. SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL.**

En una industria tan ampliamente extendida y variada como la del vidrio, los riesgos también difieren mucho en tipo e intensidad. Sin embargo, las plantas modernas completamente mecanizadas han logrado eliminar muchos de los riesgos que aún permanecen en las fábricas más antiguas y tradicionales.

### **8.1 RIESGOS POTENCIALES.**

#### **Accidentes**

Los accidentes que ocurren durante la manipulación del vidrio constituyen uno de los principales riesgos de esta industria, siendo las laceraciones los más frecuentes en la industria del vidrio plano, y las quemaduras en la de envases.

#### **Sílice.**

El sílice, es el componente principal en la fabricación de vidrio comercial. En general se utiliza en forma de arena natural, de la cual se han eliminado las partículas finas durante el lavado, y no es causante de silicosis.

Cuando se requiere un grado de pureza muy alto, el cuarzo triturado puede ser reemplazado por arena natural. Siendo este polvo esencialmente peligroso.

Es frecuente que los fabricantes de vidrio preparen su propia arcilla refractaria para utilizar en los hornos. El mortero de sílice también se utiliza ampliamente. La elaboración de refractarios y el cortado y cincelado a medida, puede dar lugar a polvos que contienen una cantidad peligrosa de sílice libre. Se han registrado múltiples casos de silicosis en la preparación de vidrios especiales para procesos en pequeños hornos refractarios.

#### **Plomo.**

La intoxicación por plomo puede ser causada por el mezclado de materias primas que contengan plomo rojo y el subsiguiente llenado del crisol o del horno.

#### **Polvos alcalinos.**

Los materiales alcalinos, tales como polvos de soda o potasa, pueden causar ulceración nasal, llegando hasta la perforación del tabique. Estos productos químicos son irritantes a la piel y una pequeña cantidad que caiga sobre la piel sudorosa puede ocasionar una quemadura cáustica de gran extensión.

#### **Otras materias primas.**

Algunas materias primas como el arsénico, son tóxicos e irritantes de la piel. El peligro surge casi únicamente durante el manejo en forma concentrada y durante la etapa de mezclado.

#### **Riesgos varios.**

El uso de ácido fluorhídrico en operaciones de grabado y oscurecido del vidrio puede ocasionar quemaduras debido su contacto con la piel y riesgos de gases cuando el ácido fluorhídrico se extiende en cantidad sobre el vidrio.

Hay a menudo varios usos de asbesto en la industria.

Los gases de los aceites de lubricación en las prensas pueden ser densos y desagradables.

### **Calor y energía radiante.**

El ambiente de trabajo alrededor del horno es caliente, pero los mayores problemas surgen durante las operaciones de mantenimiento y el trabajo en reparaciones de emergencia. La mayor parte del calor se transmite en la forma de energía radiante. La temperatura en las zonas donde se realizan mantenciones de rutina pueden alcanzar frecuentemente entre 120 y 160°C. En reparaciones de emergencia puede alcanzar los 200°C.

### **Soplado del vidrio.**

El soplado del vidrio con la boca puede causar deformaciones en las mejillas y daños en los labios y dientes.

### **Ruido.**

Niveles de ruido perjudiciales de más de 100 dB, con una componente importante de alta frecuencia, se producen en algunas máquinas de prensado de vidrio, como las utilizadas en la fabricación de botellas, produciéndose principalmente por los chorros de refrigeración de aire comprimido a alta presión. Es necesaria la protección de oídos.

## **8.2 MEDIDAS DE SEGURIDAD E HIGIENE.**

### **Prevención de accidentes.**

Una esmerada limpieza y orden son de la mayor importancia en la prevención de lesiones por vidrios rotos que se proyectan desde las mesas, estantes o recipientes, o que permanecen en el suelo. Es muy importante una eficaz organización de seguridad. La creciente mecanización y automatización disminuye grandemente los riesgos del manejo manual.

Las prendas de ropa protectoras diseñadas para este propósito pueden evitar muchas lesiones en el manejo del vidrio o por proyección de los mismos. Puede utilizarse malla de alambre de acero entre dos capas de paño para hacer chaquetas, mangas, polainas, etc. Es esencial una eficaz protección de los ojos, donde exista el riesgo de la proyección de vidrios y donde existe resplandor.

### **Control de polvo y gases.**

Son esenciales los encapsulamientos o una ventilación eficaz aplicada localmente donde se produzcan polvos tóxicos, gases o vapores.

Es aconsejable una inspección periódica del medio ambiente en las zonas donde de trabajo donde se utilicen materiales tóxicos.

En la fabricación moderna del vidrio los riesgos son significativamente reducidos. La entrega a granel de las materias primas en camiones o vagones, el vaciado neumático o por apertura de fondo en una tolva, han eliminado los riesgos de exposición al polvo del manejo manual. La sustitución por monosilicato de plomo granular en lugar de otros preparados de plomo finamente pulverizados trae consigo una marcada reducción del polvo.

Para trabajos de emergencia a corto plazo, por ejemplo revestimiento de refractarios durante la reparación de tanques, es necesario el uso de protección respiratoria eficaz.

Los encargados de mantenimiento que limpian o cambian accesorios de luces u otros trabajos de corta duración en la parte superior del galpón deben utilizar mascararas respiratorias contra los gases de anhídrido sulfuroso.

### **Acido fluorhídrico.**

Se requiere una evacuación eficaz para expulsar los gases, y se obtiene un manejo seguro por el uso de contenedores de polietileno y métodos de trasvase de sifón. Se requiere protección personal completa contra el riesgo de salpicaduras, incluyendo gafas, protección de manos y delantales.

En el caso de quemaduras, una inyección subcutánea de gluconato de calcio al 10 por ciento debajo de la quemadura proporciona un gran alivio en los síntomas.

### **Calor.**

El riesgo de las enfermedades por calor se reduce considerablemente por medio de la aclimatación. Un suministro adecuado de bebidas salinas debe estar disponible para todos los trabajadores alrededor de los hornos de vidrio, para permitir el reemplazo de la sal y el agua perdidas en el sudor. Por medio de pantallas puede proporcionarse una protección considerable contra la energía radiante.

Las prendas protectoras modernas se hacen de material adecuado recubierto con una superficie de aluminio reflectora depositada al vacío.

### **Supervisión médica.**

La destreza manual y los movimientos de las articulaciones de los miembros superiores son muy importantes en los que manejan el vidrio. Los que trabajan con plomo deben someterse a supervisión médica periódica con los intervalos reglamentarios o según dicte la naturaleza de la exposición. Deben realizarse anualmente radiografías de tórax de aquellos que están expuestos a polvo de sílice, o bien con distintos intervalos según requiera el grado de exposición.

### **Legislación.**

La producción continua requiere de trabajo a turno en muchos procesos. La legislación de cada país, puede controlar la duración y disposición de las horas que pueden trabajarse, especialmente para mujeres y jóvenes. El Convenio de Trabajos de Vidrio Plano, O.I.T., 1934 (número 43), y el Convenio de Reducción de Horas de Trabajo (Trabajos en Botellas de Vidrio), 1935 (núm. 49), se relacionan con ese aspecto. La

legislación nacional puede también excluir mujeres y jóvenes de ciertos procesos peligrosos, pesados o desagradables asociados a la industria del vidrio.

Respecto a la legislación nacional, en la actualidad no existe legislación específica por actividad industrial y por tanto asociada a la producción de vidrio. Sin embargo, en el caso de la exposición ocupacional al calor rige el Decreto supremo N° 745 del Ministerio de salud "Sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo", y en particular los artículos 84, 85 y 86, donde se indica la carga calórica máxima a la cual podrán estar expuestos los trabajadores en forma repetida, para que esto no cause efectos adversos en su salud.

## 9. LEGISLACION Y REGULACIONES AMBIENTALES APLICABLES A LA INDUSTRIA

El presente capítulo identifica la totalidad de 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

### 9.1 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

**9.2 NORMATIVAS QUE REGULAN LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS**

• **D.F.L. N° 725/67**

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

• **D.S. N° 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. N° 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. N° 322/91**

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

• **D.S. N° 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. N° 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. N° 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. N° 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. N° 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. N° 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. N° 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 N° 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 N° 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 N° 19.300.

• **D.S. N° 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

### 9.3 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 Secretaria General de la Presidencia, una norma de emisión relativa a las descargas de residuos líquidos industriales a aguas superficiales.

#### • 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

### 9.4 NORMATIVAS APLICABLES A LOS RESIDUOS SÓLIDOS

#### • D.F.L. N° 725/67

Título : Código Sanitario (Art. 78–81).

Repartición : Ministerio de Salud.

Diario Oficial : 31/01/68

#### • D.F.L. N° 1.122/81

Título : Código de Aguas (Art. 92).

Repartición : Ministerio de Justicia.  
Diario Oficial : 29/10/81

• **D.F.L. N° 1/89**

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

• **D.L. N° 3.557/80**

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

• **D.S. N° 745/92**

Título : Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo (Art. 17, 18, 19).  
Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 08/06/93

• **Resolución N° 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 N° 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

## 9.5 NORMATIVAS APLICABLES A LOS RUIDOS

• **D.F.L. N° 725/67**

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

**• D.S. N°146/98**

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 N°286, de 1984, del Ministerio de Salud.

Repartición : Ministerio Secretaría General de la Presidencia

Diario Oficial : 17/4/98

**• D.S. N° 745/92**

Título : Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo.

Repartición : Ministerio de Salud.

Diario Oficial : 08/06/93

## **9.6 NORMATIVAS DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL**

**• D.F.L. N° 725/67**

Título : Código Sanitario (Art. 90–93).

Repartición : Ministerio de Salud.

Diario Oficial : 31/01/68

**• D.F.L. N° 1/89**

Título : Determina Materias que Requieren Autorización Sanitaria Expresa (Art. 1 N°44).

Repartición : Ministerio de Salud.

Diario Oficial : 21/02/90

**• Ley N° 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. N° 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. N° 29/86**

Título : Almacenamiento de Gas Licuado.

Repartición : Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción.  
Diario Oficial : 06/12/86

**• D.S. N° 50/88**

Título : Modifica D.S. N° 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. N° 745/92**

Título : Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo.

Repartición : Ministerio de Salud.  
Diario Oficial : 08/06/93

**• D.S. N° 95/95**

Título : Modifica D.S. N° 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. N° 369/96**

Título : Extintores Portátiles.

Repartición : Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción.  
Diario Oficial : 06/08/96

#### • D.S. N° 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. N° 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

### 9.7 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 norma oficial 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.

### 9.7.1 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

### 9.7.2 Normativas de Salud y Seguridad Ocupacional<sup>18</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

#### • 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.

<sup>18</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.



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

## 10. PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCION DE PERMISOS

La legislación actual es bastante clara para las industrias nuevas, o aquellas que se están por instalar. No obstante, para las industrias que se encuentran funcionando, es posible que se generen errores en la obtención de los permisos y certificados. Es por ello que éstas deben ser mucho más cuidadosas en el cumplimiento de las normativas vigentes y aplicables.

Previo a la instalación de una industria nueva o a la modificación de una ya existente, según lo establecido en la ley 19.300 general de bases sobre medio ambiente, y en su respectivo reglamento N°30/97, éstas deben someterse a el 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 a 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 (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 obtener una serie de otros permisos, dependiendo del certificado solicitado.

Las industrias que iniciaron sus funciones con anterioridad a 1992, deben obtener el certificado de calificación técnica, para verificar que están de acuerdo con el Plan Regulador de Santiago.

Actualmente toda industria nueva (inicio de actividad posterior a 1992), debe cumplir con estos certificados, ya que de otra manera ni siquiera puede iniciar las obras de construcción. Sin embargo, no existe un plan de fiscalización que verifique periódicamente, que las condiciones ambientales, sanitarias y de seguridad ocupacional se cumplan con la misma intensidad. Por este motivo, se ha verificado en las visitas realizadas, que hay empresas que una vez aprobado su informe, prácticamente se han desentendido de la seguridad ocupacional, y de la medidas ambientales.

### 10.1 CERTIFICADO DE 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.

Cabe notar que este certificado se debe solicitar cuando la industria aún no se construye, y sólo se tiene el proyecto de Ingeniería básica y algunos componentes con Ingeniería de detalles.

## **10.2 INFORME SANITARIO**

Para la obtención de una evaluación de Informe Sanitario, se debe 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.
- Clasificación de zona (Dirección de Obras Municipales).
- Informe de cambio de uso de suelos (Servicio Agrícola Ganadero).
- Pago e inspección.

Para certificar el cumplimiento de las normas ambientales y sanitarias, al momento de presentar el certificado de informe sanitario, se debe presentar los siguientes documentos:

- Plano local con distribución de máquinas y propiedades colindantes.
- Comprobante de pago de agua potable y alcantarillado red pública (Empresa Sanitaria).
- Autorización sanitaria para sistemas de agua potable y alcantarillado particular, cuando no exista red pública (SESMA).
- Informe de muestreos isocinéticos de material particulado de fuentes fijas (Calderas, hornos, etc.) cuando corresponda (Empresa Registrada).
- Certificados de instaladores registrados en la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, de las instalaciones eléctricas y de gas (Superintendencia de Electricidad y Combustibles).
- Autorización de aprobación del tratamiento y disposición de residuos industriales sólidos (SESMA).
- Aprobación de proyecto y recepción de obras de sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos (SISS).
- Aprobación de proyecto y recepción de obras de sistemas de tratamiento de aguas servidas particulares (SESMA).
- Resolución autorización de casino, empresas sobre 25 empleados (Programa Control de Alimentos del SESMA).
- Certificados de revisiones y pruebas de generadores de vapor (SESMA-PROCEFF).
- Certificados y pruebas de autoclaves (SESMA-PROCEFF).

- Certificados de operadores de radiaciones ionizantes (Programa Salud Ocupacional del SESMA).
- 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).
- Informe de detección, evaluación y control de riesgos (Mutual de Seguridad y SESMA).
- Oficio aprobación del reglamento interno de higiene y seguridad (SESMA).
- Acta de constitución comité peritario higiene y seguridad, empresas sobre 25 empleados (Inspección del Trabajo de La Dirección del Trabajo).
- Contrato experto en prevención de riesgos, empresas sobre 100 empleados.
- Comprobante pago de cotizaciones de seguro (Mutual de Seguridad e Instituto de Normalización Previsional).

El informe sanitario tiene carácter de obligatorio para todas las empresas, se debe solicitar una vez iniciada las actividades de producción de la industria, es decir, cuando la industria ya se encuentra operativa. Por esto se hace muy importante tener un informe sanitario favorable, ya que de otra manera no se puede funcionar. En el caso de tener informe sanitario desfavorable, es preciso regularizar la situación (arreglar las falencias) lo más rápido posible y solicitar de nuevo el informe sanitario, 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.

### **10.3 PERMISOS MUNICIPALES**

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

- Patente al día Profesional
- 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 Servicio 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.
- 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.

## 11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La elaboración de productos de vidrio tiene asociada una serie de emisiones atmosféricas, siendo las más importantes las originadas en los hornos de fundición, tanto por el volumen como por las características de los contaminantes.

Dentro de las emisiones gaseosas de los hornos, las más importantes son el NOx y el SOx.

Las emisiones de NOx están asociadas tanto a las características de la combustión como al contenido de Nitrógeno en algunas materias primas. Es posible prevenir la formación de NOx, con la consiguiente reducción en las emisiones por el uso de tecnologías de combustión tales como, quemadores de bajo NOx, Oxi - combustión, etc.

Las emisiones de SOx están asociadas tanto al contenido de azufre en las materias primas como del combustible. Su formación se puede prevenir por el reemplazo de los combustibles pesados utilizados en la actualidad, principalmente petróleo N°6, por combustibles con bajo contenido de azufre, como lo es el gas natural.

Dado el alto consumo de combustible de los procesos más grandes, es posible que el abatimiento de los SOx utilizando equipos de control, sea una solución más costo efectiva que el cambio de combustible a gas natural. Sin embargo, debido a que las tecnologías de alta eficiencia de control de gases suelen ser húmedas, debe ser considerado el posterior tratamiento y disposición de los residuos líquidos, dentro de la evaluación.

Debido a la presencia de metales pesados en el material particulado captados por los equipos de control se recomienda la utilización de equipos secos, que eviten el posterior tratamiento de los residuos líquidos con el fin de recuperar los metales pesados. Esta práctica se observa en la industria, donde en general son utilizados como equipos de control material particulado, precipitadores electrostáticos y filtros de manga.

Se denota como una gran posibilidad de ahorro de energía y reducción de las emisiones la utilización de vidrio reciclado como materia prima.

Los RILES que resultan de la elaboración de productos de vidrio, los cuales están asociados principalmente a la utilización de equipos de control húmedos de emisiones atmosféricas, se caracterizan por la presencia de metales pesados. Se sugiere que el control de estos contaminantes se haga mediante precipitación química y sedimentación. El tipo y cantidad de reactivo químico a emplear se debe determinar caso a caso, ya que depende de las características particulares del proceso respectivo.

De acuerdo al Borrador del Reglamento de Manejo Sanitario de Residuos Peligrosos del Ministerio de Salud de Chile (Minsal, 1998), la producción de vidrio conlleva el empleo y la generación de residuos que hacen exigible un Plan de Manejo de Residuos Peligrosos (PMRP). Estos se origina principalmente del material particulado captado por los equipos de control de emisiones atmosféricas.

## 12. REFERENCIAS.

- INE.1976. "Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las Actividades Económicas (CIIU) UN Serie M, N° 4 Rev.2
- Actualización Catastro de RILES de la SISS - 1998
- USEPA AP-42 Section 11.7 (1996)
- "Air pollution Technology Fact Sheet", Center of Air Pollution, EPA.1999
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) "Elaboración de guías metodológicas de procedimiento, para la confección y revisión de planes de manejo de residuos peligrosos" (desarrollada por SERPRAM), Mayo 1999.
- Ministerio de Salud de la República de Chile (Minsal). Borrador de Reglamento de Manejo Sanitario de Residuos Peligrosos. 1998
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1980. A Method for Determining the Compability of Hazardous Wastes. Municipal Environemnt Research Laboratory. Office of Research and Development. EPA-600/2-80-076
- Organización Internacional del Trabajo. "Enciclopedia de Higiene Industrial".OIT-74
- Luis Theodore, "Air Pollution Control Equipment: Selection, Design, Operation and Maintenance", (1992).
- Proceff, "Caracterización, priorización y análisis de los procesos de la Región Metropolitana, Industria del vidrio" (Julio 1997)
- USEPA, "Alternative Control Technique Document – NOx Emission from Glass Manufacturing", Junio 1994.
- USEPA, "OAQPS Control costo manual – fifth edition", EPA453/B-96-001,(Febrary 1996)
- Proceff, "Caracterización, priorización y análisis de los procesos industriales de la R.M., Industria del vidrio", (Julio 1997).
- KOKUSI KOGYO Co. Ltd "The Master Plan Study on Industrial Solid Waste Managment in the Metropolitan Region of the Republic of Chile", 1996.
- EPA, "Alternative Control Technique Document- NOx Emission from glass manufacturing", June 1994