

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

**FABRICACIÓN DE OBJETOS DE BARRO,
LOZA Y PORCELANA**

**SANTIAGO
DICIEMBRE DE 1999**

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 los Laboratorios Fotográficos. 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 Laboratorios Fotográficos, ha sido elaborada en base a un estudio realizado por Araucaria Consultores Ltda.

1 INTRODUCCIÓN

Producto cerámicos es un término genérico para productos que, por lo general, son blancos y de textura fina. Debido a las diferentes cantidades y clases de fundentes que cada uno emplea, hay una variación en el grado de vitrificación entre estos productos, que van desde la loza de barro hasta la porcelana vitrificada.

Algunos de los productos cerámicos tradicionales pueden describirse como se indica en la tabla N°1.1.

Tabla N° 1.1
Descripción productos cerámicos

Producto cerámico	Descripción
Loza de barro (llamada a veces vajilla semivítrea)	Es porosa y no traslúcida con un suave barniz
Porcelana china	Es un producto traslúcido y vitrificado, con un barniz intermedio que resiste la abrasión hasta cierto grado, se usa con propósitos no técnicos
Porcelana	Producto traslúcido y vitrificado, con un barniz duro que resiste la abrasión al máximo grado. Incluye la porcelana química, la aislante y la dental
Productos sanitarios	En un principio se hacían de arcilla y eran usualmente porosos, por lo que actualmente se usa una composición vítrea
Vajilla de gres	Uno de los productos cerámicos más antiguos, puede considerarse como una porcelana cruda, no tan cuidadosamente fabricada, y a partir de materias primas de un grado más pobre.
Lozas cerámicas	Disponibles en un cierto número de tipos especiales; por lo general se clasifican como lozas para pisos, que son resistentes a la abrasión e impermeables a la penetración de las manchas, y que pueden ser vidriadas o no; también azulejos o mosaicos para paredes, que tienen una superficie dura, permanente, y vienen en una gran cantidad de colores y texturas.

Fuente: Austin, George.1992.Manual de Procesos Químicos en la Industria.Mc Graw Hill

El tipo de industria considerada en este estudio es aquella que fabrica los productos indicados para el CIIU 3610 por la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas empleada por las Naciones Unidas:

- artículos de cocina para preparar, servir o almacenar alimentos y bebidas de loza vidriada y semividriada
- accesorios de fontanería de loza vidriada y accesorios de fontanería de loza y barro
- artículos eléctricos de porcelana
- loza artística, decorativa, industrial y de laboratorio, objetos de piedra y barro
- floreros de arcilla roja sin vidriar

1.2 Representatividad e indicadores económicos del sector

Según información del INE del año 1996, este rubro registraba un total de 17 industrias en el país, como se indica en la tabla N° 1.2

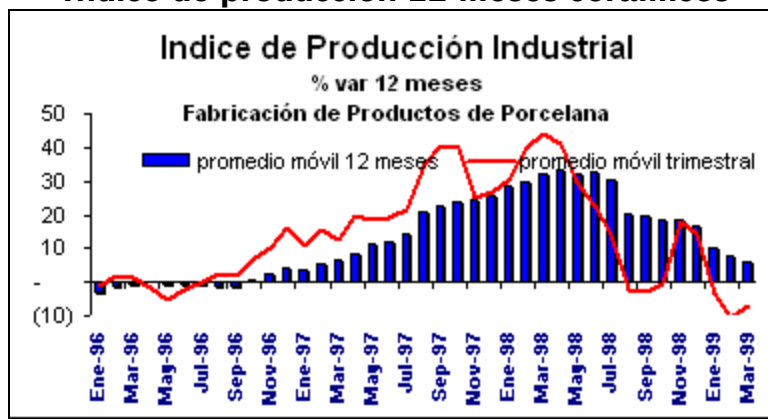
Tabla N° 1.2
Número de industrias en el país
como función del número de empleados

N° trabajadores	Industrias	Empleados	Obreros
> 50	9	354	1350
10 - 49	8	20	122
Total	17	374	1472

Fuente: Elaboración propia a partir ENIA 1996

A continuación en las figuras N° 1.1 muestra los indicadores económicos del sector, que revelan un aumento de la producción a partir del año 1996, el que se revierte a partir de mediados de 1998.

Figura N° 1.1
Índice de producción 12 meses cerámicos



Fuente : SOFOFA

La venta total de productos cerámicos en el año 1996 alcanzó aproximadamente los 26.000 millones de pesos. Si se considera que las ventas de todo el sector industrial para 1996 alcanzan los 16.574.108 millones, las ventas de productos cerámicos representarían aproximadamente un 0.2 % del total de las ventas del sector industrial (ver tabla N° 1.3).

Tabla N°1.3
Productos vendidos fabricados por el establecimiento
(Millones de Pesos)

N° Trabajadores De la empresa	Mercado Interno	Mercado Externo	Total
1 a 49	745	0	745
Más de 50	18 790	6 077	24 868
Total	19 535	6 077	25 612

Fuente: INE; Encuesta nacional industrial anual 1996.

En la tabla N° 1.4 se indican la producción física de alguno de los productos cerámicos más importantes en cuanto a producción.

Tabla N° 1.6
Producción física
(toneladas)

Año	Utensilios de loza para mesa y cocina (ton)	Artefactos sanitarios (ton)
1988	7.250	13.752
1989	7.750	18.247
1990	6.766	17.030
1991	6.469	15.924
1992	5.727	19.822

Fuente: INE.1993. "Índice de producción y venta física de industrias manufactureras" Boletín Mensual N° 23. Departamento de Estadísticas Económicas

1.3 Importancia del sector en la Región Metropolitana con relación a los aspectos ambientales

1.3.1 Contaminación atmosférica

La importancia de las emisiones atmosféricas de la industria cerámica en la Región Metropolitana se determina considerando solo las emisiones generadas en el empleo de combustibles. En la tabla N° 1.5, se indica el aporte de las emisiones de este sector industrial, en la Región Metropolitana.

Tabla 1.5¹
Emisiones de fuentes fijas de productos cerámicos y porcentaje del total de la Región Metropolitana

Contaminante	Total Fuentes Fijas (Ton/año)	Sector cerámicas (Ton/año)	Sector cerámicas (%)
M P	1618.2	69.3	4.3%
NOx	6932.8	26.7	0.4%
CO	2263.7	4.6	0.2%
VOC	230.7	0.7	0.3%
SOx	16170.6	0.7	0.1%

MP: Material particulado.

Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos Ffijas 1998 de PROCEFF.

¹calculadas a partir del consumo de combustible y factores de emisión de calderas

1.3.2 Contaminación hídrica en la Región Metropolitana

El Catastro de RILES de la SISS de 1998, en la Región Metropolitana considera un universo de 401 industrias correspondiendo 6 al rubro cerámico. En la tabla N° 1.6 se indica el aporte mensual, que se estima hacen 6 industrias de este rubro.

Tabla N° 1.6
Aporte carga contaminante rubro CIIU 3610 en la R.M.

Número Industrias	Kg S.S./mes	Porcentaje total (%)
6	49881	6.62

Fuente: Elaboración propia a partir de Catastro SISS 1998

2 ANTECEDENTES DE LA PRODUCCIÓN

2.1 Materias primas

2.1.1 Materias primas básicas

Las tres principales materias primas usadas para hacer los productos cerámicos tradicionales, son arcilla (silicato de aluminio hidratados, más o menos impuros), feldespato y arena.

Además de las tres principales materias primas, se usa una gran variedad de otros minerales, como sales y óxidos, empleados como agentes fundentes y como ingredientes refractarios especiales.

Algunos de los más comunes agentes fundentes, que disminuyen la temperatura de vitrificación, la temperatura de fusión o la temperatura de reacción, son: bórax, ácido bórico, carbonato de sodio, nitrato de sodio, carbonato de potasio, nefalina sienita, huesos calcinados, apatita, fluoruro de calcio, criolita, óxidos de hierro, óxidos de antimonio, óxidos de plomo, minerales de litio y minerales de bario.

Algunos de los ingredientes refractarios especiales más comunes, son: alúmina, olivina, cromita, magnesita, cal y caliza, zirconia, titania, silicato de magnesio hidratados (por ejemplo talco), silicato de aluminio, dumortierita, carburo de silicio, mulita, dolomita y dióxido de torio.

Las materias primas empleadas por la industria cerámica nacional se indica en la tabla N° 2.1, así como los porcentajes en peso que cada una de ellas representa.

Tabla N° 2.1
Materias primas empleadas
por la industria nacional

Materia prima	% p/p
Caolín	40.0
Feldespatos	30.0
Arcillas	30.0
Cuarzo	15.0
Arena Sicilia	15.0
Esmalte	10.0
Yeso	10.0
Dolomita	5.0
Carbonato de calcio	5.0
Fritas	3.0
Opacificantes	1.0
Calizas	1.0
Silicato de circonio	1.0
Oxidos de zinc	0.5
Silicato de sodio	0.5
Pigmento	0.1

Fuente: Elaboración propia a partir de Catastro SISS 1998

2.1.2 Comportamiento y química básica de los materiales cerámicos

Todos los productos cerámicos se hacen combinando cantidades variables de las materias primas, moldeándolas y calentándolas a temperatura de cocción. Los incrementos en la temperatura causa varias reacciones, las que se indican en la tabla N°2.2, las que constituyen las bases química para las conversiones químicas.

Tabla N°2.2
Reacciones químicas de los materiales cerámicos
por temperatura

Temperatura (°C)	Reacción
150-650	Deshidratado o humeado químico del agua
600-900	Calcinación, por ejemplo CaCO_3
350-900	Oxidación de hierros ferrosos y la materia orgánica
900 - > 900	Formación de silicato

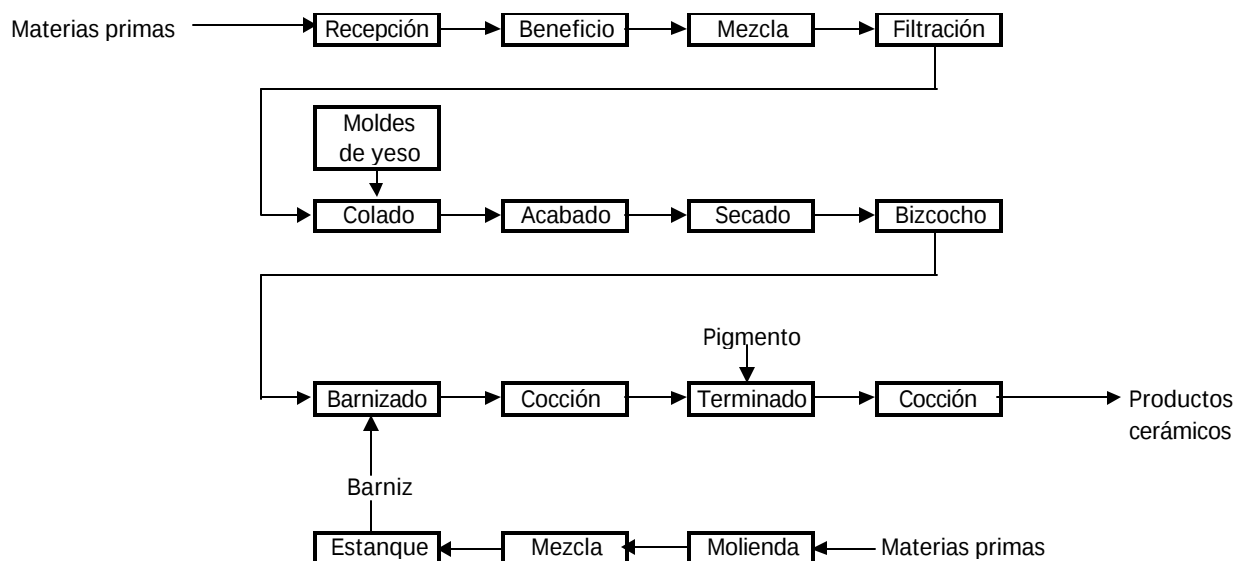
Fuente: Austin, George.1992. "Manual de procesos químicos en la Industria". McGraw Hill

2.2 Descripción del proceso

2.2.1 Descripción de las etapas involucradas en la fabricación

En la figura N° 2.1 se muestra el diagrama de flujo del proceso industrial. A continuación se describe en detalle cada etapa.

Figura 2.1
Diagrama de flujo del proceso
de la elaboración de productos cerámicos



Fuente: elaboración propia

a) Recepción

Las materias primas son transportadas y almacenada en las dependencias de la industria.

b) Beneficio

El proceso de beneficio incluye la pulverización, purificación, tamizado, clasificación, calcinación, dispersión en líquido y granulación. Lo usual es que la materia prima natural sea sometida a un grado de beneficio en su lugar de extracción o en otra instalación antes de ser transportado a la industria del rubro cerámico.

c) Mezcla

El agua es el líquido más comúnmente empleado en la mezcla. Algunos agentes para ayudar el proceso son añadidos a la mezcla cerámica, tales como defloculantes, surfactantes y antiespumante.

Los defloculantes mejoran la dispersión y su estabilidad. Los agentes surfactantes son usados en el procesamiento en pasta para ayudar a la dispersión. Los agentes antiespumante son usados para remover las burbujas de gas atrapadas de la pasta. Para extraer fácilmente el aire, también se suele amasar la pasta en prensas al vacío y pasar a presión por orificios que conducen a una cámara sin aire, donde unas cuchillas giratorias cortan finalmente la pasta.

d) Colado o torneado

En la etapa de colado las mezclas, son consolidados y moldeados para producir la cohesión del cuerpo, de un tamaño y forma deseada. El colado de cerámicas se logra generalmente mediante vaciado. En la operación de vaciado una mezcla que tiene un contenido de humedad de 20 a 35%, es vertida en un molde poroso. La succión capilar del molde conduce el líquido del molde, consolidando así el material cerámico repartido.

e) Acabado

La pieza de cerámica pasa por una máquina para eliminar las asperezas de la superficie o las vetas, o para modificar la forma. Los métodos empleados incluyen equipos de desgaste superficial, que suavizan la superficie de la cerámica, y de perforación para dar forma, crear hoyos o cavidades.

e) Secado

El método más comúnmente usado para secar la cerámica es por convección, en la cual el aire caliente se hace circular alrededor de la cerámica. A menudo el secado con aire es realizado en hornos de túnel - los que por lo general usan calor recuperado de la zona de enfriamiento del horno. También se emplean hornos periódicos u operaciones de secado en batch.

f) Bizcocho

Previo a la cocción, a menudo las cerámicas son tratadas con calor a temperaturas por debajo de la temperatura de cocción. El propósito de este procesamiento térmico es proporcionar un secado adicional, vaporizar o descomponer aditivos orgánicos y otras impurezas, y remover agua residual que está en forma de cristales o que está unida químicamente.

g) Barnizado

EL barniz se aplica a las cerámicas ya sea por rociado o inmersión. El rociado es probablemente el método más común de aplicación de barniz en la industria cerámica. La inmersión es un proceso antiguo de aplicación de barniz, y generalmente es usado solamente en formas que no se puede abordar con el rociamiento.

h) Cocción

La cocción es el proceso mediante el cual la cerámica es consolidada térmicamente en un cuerpo denso y cohesivo constituido por granos finos y uniformes. Los parámetros de operación que afectan la cocción incluyen la temperatura de cocción, el tiempo, la presión y la atmósfera.

El método de cocción convencional se logra mediante el calentamiento de la cerámica cruda a una temperatura aproximada de dos tercios de la de fusión, a presión atmosférica, y manteniéndola por un tiempo específico en un horno túnel o periódico. Los hornos periódicos son calentados y enfriados de acuerdo con un programa prescrito. Los hornos de túnel tienen generalmente zonas separadas para el enfriamiento, la cocción y precalentamiento o secado.

i) Terminado

Con posterioridad a la cocción, algunos productos cerámicos son procesados aún más para potenciar sus características. La decoración se hace con calcomanías especiales, con partículas de materiales que permiten su total adherencia a la pieza de cerámica, con pigmentos de colores, con oro, platino, cobalto o también se puede decorar a mano con pigmentos especiales.

Una vez hecha la decoración, y dependiendo de cual ha sido, la pieza pasa por un tercer horno a diferentes temperaturas. Esta cocción impregna la decoración a la cerámica y pasa a ser un todo con la cerámica, lo que permite que resista el contacto con el agua y el calor.

2.2.2 Descripción de las etapas anexas al proceso de fabricación

2.2.2.1 *Elaboración de los moldes de yeso*

La modelación tiene como objeto final la fabricación de moldes de yeso, que son entregados a la sección torneado y colado para la reposición de piezas de cerámica.

El molde de trabajo es ejecutado siempre en yeso, que es sulfato de calcio hidratado con dos moléculas de agua, no existiendo hasta el momento un producto que pueda sustituir a esta materia por sus propiedades, no solo de absorción por capilaridad, sino también por las reacciones químicas que se producen en su superficie, en el caso de los moldes de colado.

El secado de los moldes debe efectuarse de un modo progresivo y cuidadoso, observándose que en ningún caso deben superarse los 45 °C.

2.2.3.2 *Elaboración del barniz*

Para la preparación de los barnices se usan los mismos minerales que en la preparación de la pasta, además de los pigmentos para obtener el vidriado del color que se desee.

Los materiales del barniz son molidos, triturados, pulverizados en un molino de bolas hasta alcanzar una distribución de tamaño de partículas que permita una aplicación uniforme.

Añadir plomo al barniz incrementa dramáticamente su durabilidad química e intensidad del color, ayudando a resistir el ataque de los detergentes. El plomo proporciona una superficie brillante, de higiene durable que resiste el rayado. El plomo también permite al barniz ser fundido y fluir fácilmente, a la vez que incrementa la fuerza de las uniones entre el barniz y el sustrato.

El carbonato de plomo blanco básico ($2\text{PbCO}_3\text{Pb(OH)}_2$) ha sido la clase de plomo preferido por los fabricantes de cerámica, para ser empleado en el barniz. Sin embargo, debido a que el plomo blanco y otros óxidos de plomo son más solubles - lixiviando en el tiempo- que otras formas de plomo, es que la industria de la cerámica lo está dejando de lado.

Los barnices consisten principalmente en óxidos y pueden ser clasificados como barniz bruto o barniz frita. En el caso de barniz bruto, los óxidos están en la forma de minerales o compuestos que funden rápidamente y actúan como solventes para los otros ingredientes. Alguno de las materias en bruto, más comúnmente usados para barnices son cuarzo, feldespato, carbonatos, boratos y zirconia. La frita es un barniz ya preparado.

2.3 Principales equipos

En las vistas efectuadas se pudo observar que los principales equipos son:

- Molinos
- Mezcladores
- Estanques de acumulación de pasta
- Secadores
- Horno bizcocho
- Cámara de barnizado
- Horno Cocción

Los hornos y secadores ocupan diferentes fuentes de energía. En la tabla N° 2.3 se indica el número de fuentes por tipo de combustible para el conjunto de industrias con información. Información que revela que el combustible más empleado es el gas natural.

Tabla 2.3
Combustible utilizados en la producción de cerámicas

Tipo de combustible	Número de fuentes ¹
Electricidad	5
Gas de cañería	3
Gas Licuado	3
Gas natural	10
Sin especificar	4
Total de fuentes	25

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

¹ corresponde a 5 industrias

2.4 Calidad de los productos asociada a la lixiviación de plomo

2.4.1 Lixiviación de plomo

Los productos cerámicos que están en contacto con los alimentos, presentan una capacidad de lixiviar los metales pesados constituyentes del barniz empleado en la confección de la pieza. Lo que depende de una serie de parámetros, incluida la composición del barniz, las condiciones de cocción, pH del alimento, temperatura, y el estado físico de la comida (líquido, húmedo) y duración del contacto de la comida.

Los niveles guías, aplicables solo a productos destinados a estar en contacto con alimentos, de lixiviación de plomo de residuos de cerámica son los que se indican en la tabla N° 2.4

Tabla N° 2.4
Niveles guía de lixiviación de
plomo de productos cerámicos

Concentración (mg/l)	Artículo
7.0 – 3.0	Plato, platillo y otros artículos planos
5.0 – 2.0	Pequeños recipientes como un tazón de cereales (pero no copas o tazas)
5.0 – 0.5	Copas y tazas
2.5 – 1.0	Para recipientes mayores a 1,1 litros tales como tazones (pero no cántaros o jarro)

2.4.2 Medidas de minimización de la lixiviación del plomo

2.4.2.1 Medidas a adoptar por el fabricante

En el cuadro N° 2.1 se indica las medidas que el fabricante de cerámicas destinadas a contener o estar en contacto con alimentos.

Cuadro N° 2.1
Medidas a adoptar por el fabricante
Para evitar o minimizar la lixiviación de plomo

- No se debe usar barnices con plomo en artículos destinados a estar en contacto con alimentos
- Añadir el plomo al barniz en forma de frita
- No se debe adicionar cobre a las fritas de plomo, ya que esto conlleva una mayor solubilidad del plomo en el artículo cocido.
- No se debe añadir óxidos colorantes, puesto que hace al producto cocido menos resistente a los ácidos.
- Cocción de porcelana y gres a alta temperatura, eliminan la necesidad de emplear plomo como fundente
- Que la molienda de los materiales constituyentes del barniz, se haga hasta alcanzar una distribución de tamaño de partículas que permita una aplicación uniforme, pero no tan fina que se excedan los estándares de solubilidad del plomo

Cuadro N° 2.1-Continuación
Medidas a adoptar por el fabricante
Para evitar o minimizar la lixiviación de plomo

- Emplear el bisilicato de plomo ($\text{PbO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1,95\text{SiO}_2$), una fuente de plomo de baja solubilidad, que se emplea en el barniz de utensilios cerámicos para los alimentos
- Emplear fundentes de tierra álcali o tierra alcalina en vez de plomo, para obtener condiciones de cocción más baja. Fundentes de tierra álcali incluye al sodio, potasio y óxidos de litio; fundentes de tierra alcalina incluye al calcio, magnesio, bario y óxidos de estroncio. Los minerales que contienen estos fundentes tales como: ciertos feldespato, sianita nefalina, petalita, cenizas de hueso y plantas, tiza y dolomita

2.4.2.2 Medidas a adoptar por el usuario de productos cerámicos

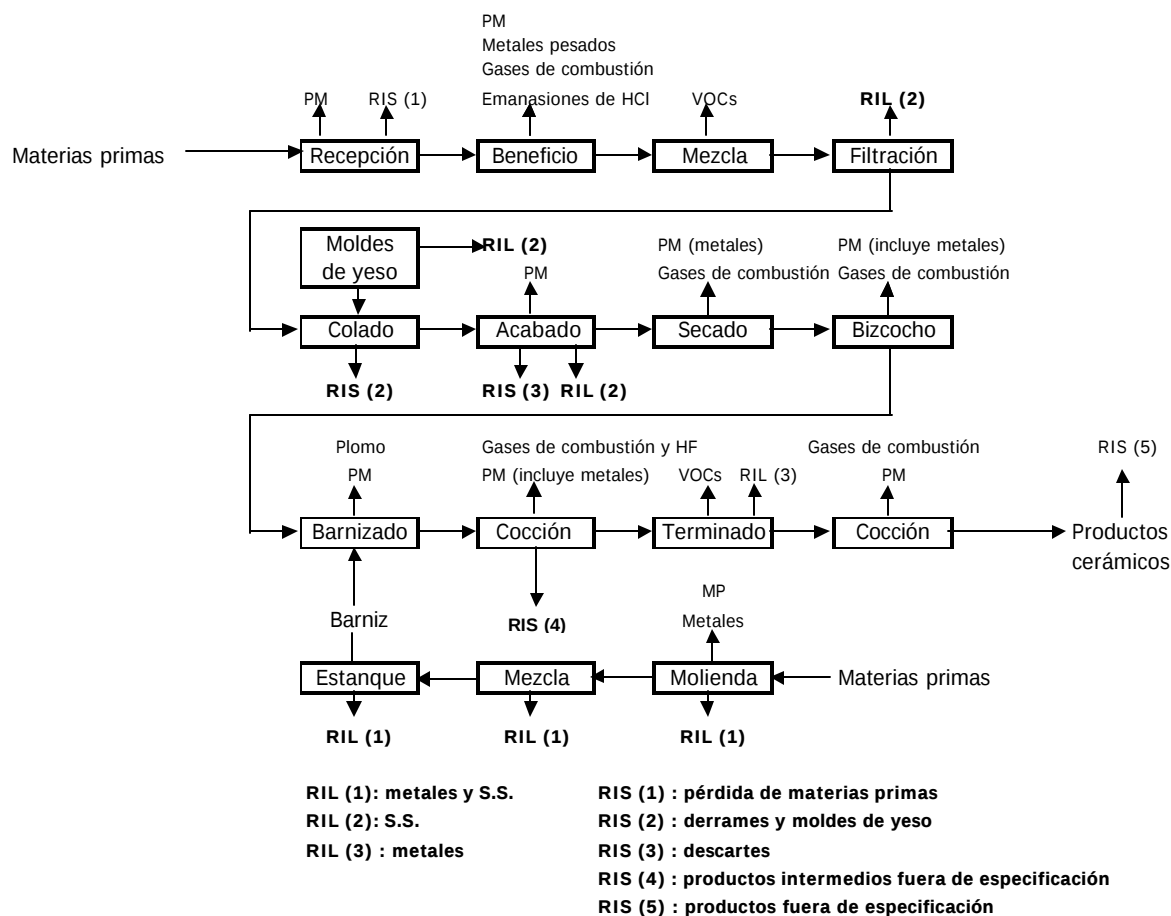
En el cuadro N° 2.2 se indica recomendaciones a los consumidores para prevenir la exposición de los alimentos al plomo.

Cuadro N° 2.2
Medidas a adoptar por el usuario de productos cerámicos

- Las mujeres embarazadas deben evitar el uso diario de tazas cerámicas cuando se beba líquidos calientes, tales como café o té, y evite el uso diario de artículos de cristal que contengan plomo.
- No se debe alimentar al bebé con botellas de cristal que contengan plomo
- No almacene comidas ácidas tales como jugos de fruta en contenedores cerámicos
- Evite almacenar bebidas ácidas, tales como jugo de fruta té helado, en jarros con barnices con plomo, porque, aún frías las bebidas ácidas tienen una mayor tendencia, que otros alimentos, a causar lixiviación de plomo.
- No almacene líquidos en contenedores de cristal que contengan plomo.
- Limite el uso de utensilios domésticos antiguos o de colección, para alimentos o líquidos, en ocasiones especiales
- No continúe usando objetos que muestren polvo residual o residuos gredosos de color gris, sobre el barnizado después de ser lavados
- Etiquete objetos ornamentales que contengan plomo con la advertencia "No se use para comidas – el objeto va a envenenar la comida". Emplear solo para propósitos decorativos.

3 GENERACIÓN DE CONTAMINACIÓN

En la figura N° 3.1 se señalan los distintos contaminantes atmosféricos, residuos líquidos y residuos sólidos que se generan en las distintas etapas del proceso.



3.1 Emisiones atmosféricas

En la figura N° 3.1 se indican las emisiones atmosféricas puntuales que se generan en las distintas etapas del proceso. Emisiones fugitivas, asociadas a material particulado y el PM-10 son consecuencia del tráfico vehicular, la erosión que genera el viento en las pilas de material en bruto en la zona de almacenamiento y la manipulación y transferencia de material.

El proceso en esta industria comprende el empleo de combustibles en las etapas de secado y cocción, combustible que es en sí mismo una fuente de contaminación.

En las tablas N° 3.1 se indican factores de emisión de material particulado y plomo para distintas etapas del proceso productivo, de esta información se desprende que la fuente más importante es la de barnizado.

En la tabla N° 3.2 se indican factores de emisión de gases y VOCs originados en etapas del proceso productivo. La tabla N°3.3 se presentan factores de emisión globales empleados en Holanda, para la industria de cerámicas. En la tabla N° 3.4 se presentan factores de emisión relacionados con la fuente de combustión. Se observa que el empleo de gas natural propicia una reducción de las emisiones de SO₂ y CH₄.

Tabla N° 3.1
Factores de emisión de fuentes de
PM y Plomo en la manufactura de cerámicas

Fuente	PM filtrable (kg/ton producto) ¹	RFE	Plomo (kg/ton producto)	RFE
Aplastamiento de la materia bruta y tamizado con filtro manga ²	0,0600	D		
Secador	1,1500	E		
Enfriador	0,0550	D		
Granulación secador spray a gas natural Emisión controlada con filtro manga ³	0,0300	E		
Granulación secador spray a gas natural Emisión controlada con scrubber venturi ³	0,0950	D		
Cocción en horno a gas natural	0,2450	D		
Recocción en horno a gas natural ⁴	0,03350	E		
Cámara spray de barnizado de cerámica Emisión no controlada ⁵	9,5000	E	1,5	E
Cámara spray de barnizado de cerámica Emisión controlada con scrubber húmedo ⁶	0,9000	D		

Fuente: USEPA AP-42 Section 11.7 (1996)

¹ El material particulado filtrable es, el PM recolectado en la mitad de adelante del tren de muestras del Método N° 5 de la EPA. Aún cuando, se pueden esperar emisiones de material particulado inorgánico y orgánicos condensables provenientes de secadores y hornos, no hay datos disponibles para estimar estas emisiones

² Las unidades del factor de emisión es libra de contaminante por tonelada de material procesado

³ Las unidades del factor de emisión es libra de contaminante por tonelada de material seco producido

⁴ El horno es empleado para recocer baldosa después de la aplicación de calcomanías, pinturas o tinta tamizada

⁵ Las unidades del factor de emisión es libra de contaminante por tonelada de barniz usado. El barniz contiene en torno al 24 % de óxido de plomo

⁶ Las unidades del factor de emisión es libra de contaminante por tonelada de barniz usado

Donde la clasificación del Ranking de Factor de Emisión (RFE) es:

A: excelente

B sobre el promedio

C Promedio

D bajo el promedio

E pobre

U no calculado

Tabla 3.2
Factores de emisión de fuentes de
gases y VOCs en la manufactura de cerámicas¹

Fuente	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	COV ²	HF ³	Fluoruro ⁴
Cocción en horno a gas natural	22*S ⁵	0,27 ⁶	1,65 ⁷	390 ⁶	0,215 ⁷	0,23	0,28
Recocción en horno a gas natural				48,5			0,019
Colado - tape casters ⁸					29		

Fuente: USEPA AP-42 Section 11.7 (1996)

1 Las unidades del factor de emisión son libras de contaminante por tonelada de producto, y todos tienen un RFE: E

2 Los COV son reportados con base a propano, medidos usando el Método 25A de la EPA. Los factores de emisión incluyen compuestos no químicamente reactivos que no son considerados como COV. No se dispone de datos para estimar las emisiones de estos compuestos que no son COV

3 El fluoruro de hidrógeno es medido usando el Método 26A de la EPA. Un balance de masa de fluoruro permitiría una mejor estimación de la emisión de HF para instalaciones individuales

4 El fluoruro total es medido durante el Método 13A o 13B de la EPA. La medición incluye HF y otros compuestos de fluoruro. Un balance de masa de fluoruro permitiría una mejor estimación de la emisión de HF para instalaciones individuales

5 Para instalaciones que usan materia prima con un contenido de sulfuro mayor a 0,07%. La variable "S" representa el contenido (%) de sulfuro en la materia prima. Las instalaciones que usan materia prima con un contenido de sulfuro menor o igual a 0,07%, usar 4,75*S kg/ton para estimar emisiones. Las emisiones de SO₂ dependen del contenido de sulfuro de la materia prima y el tipo de combustible usado en el horno.

6 Tiene un RFE: D

7 Tiene un RFE: D

8 Las unidades del factor emisión son libras de contaminante por tonelada de producto formada. Las emisiones son controladas por un quemador (afterburner)

Donde la clasificación del Ranking de Factor de Emisión (RFE) es:

A: excelente

B sobre el promedio

C Promedio

D bajo el promedio

E pobre

U no calculado

Tabla 3.3
Factores de emisión para la industria
de material cerámico fino

Parámetro	Factor de emisión (kg/ton producto)
SO ₂	0,2-2,7
F _g	0,2-2,8
Cl _g	0,1
CO ₂	300-1600
NO _x	0,6-2,0
Polvo ¹	0,35-0,80

Fuente: Huizinga, K; Verbburgh; J.J.; Mathijssen, A.J.C.; Loos, B.:Fijnkeramische Industrie; RIVM-report 7363001124; RIZA – report 92.0003/24; 1992

¹ el polvo consiste en partículas de arcilla, por lo que la composición varía ampliamente

Tabla 3.4
Factores de emisión para la
producción de cerámica fina⁷

Tipo de combustible		SO ₂ ³ (g/GJ)	NO _x ⁴ (g/GJ)	NMVOC (g/GJ)	CH ₄ (g/GJ)	CO ⁵ (g/GJ)	CO ₂ ⁶ (g/GJ)	N ₂ O (g/GJ)
Carbón	Vapor	650 ¹	160 ¹	15 ¹	15 ¹	100 ¹	93 ¹	4 ¹
Carbón	Subituminoso	610 ¹ 609 ²	40 ¹ 39 ²	1,5	1,5 ¹		99 ^{1,2}	8 ¹
Carbón	Carbón café/lignita	600 ¹	140 ¹	15 ¹	15 ¹	100 ¹	113 ¹	3,5 ¹
Carbón	Briquetas	220 ¹	140 ¹	15 ¹	15 ¹	100 ¹	98 ¹	3,5 ¹
Coque	Horno coque	145 ¹ 144 ²	45 ^{1,2}	2,5 ¹	2,5 ¹		105 ^{1,2}	
Coque	Horno coque	650 ¹	220 ¹	5 ¹	15 ¹	90 ¹	86 ¹	3 ¹
Biomasa	Madera		200 ¹	50 ¹	30 ¹		83-92 ¹	4-14 ¹
Petróleo	Residual	143-1,494 ¹	100- 180 ¹	3-4 ¹	0,1-5 ¹	10-15 ¹	73-78 ¹	2-14 ¹
Petróleo	Gas	85-1,410 ¹	70-100 ¹	1,5-2,5 ¹	1-2,5 ¹	10-12 ¹	73-74 ¹	2-14 ¹
Kerosene		69 ¹	80 ¹	2 ¹	1 ¹	12 ¹	71 ¹	14 ¹
Gasolina	Motor	45 ¹	80 ¹	2 ¹	1 ¹	12 ¹	71 ¹	14 ¹
Gas	Natural	0,3-8,0 ¹	44-330 ¹	2,5-10 ¹	0,4-4 ¹	10-111 ¹	53-69 ¹	1-3,7 ¹
Gas	Gas licuado de petróleo	0,04-2,00 ¹	20-100 ¹	1-2 ¹	1-4 ¹	13 ¹	60-65 ¹	1-3 ¹
Gas	Horno coque	0,04-12,00 ¹	50-100 ¹	2,5-4 ¹	2,5-4 ¹	10-13 ¹	49-59 ¹	1-1,5 ¹

Fuente: Bouscaren, M.R.:CORINAIR Inventory, Default Emission Factors Handbook: Second Edition; Comission of the European Communities; Paris; 1992

¹ Datos de CORINAIR, fuentes zonales

² Datos de CORINAIR, fuentes puntuales

Factores de emisión en otras unidades, se indican a continuación:

³ SO_x : 9,611 g/Mm³ de combustible Productos minerales, calentadores de proceso
290 g/ton de producto General, SO₂ g/ton, SO_x 30 g/ton

⁴ NO_x : 850 g/ton de producto

⁵ CO : 1,600 g/ton de producto valor EPA para la industria cerámica
130 g/ton de producto

⁶ CO₂ : 2.550 g/ton de producto

⁷ Se asume, que los factores de emisión citados en tabla están relacionados con las fuentes de combustión en la producción de cerámica fina.

3.2 Residuos sólidos

Los residuos sólidos se generan principalmente por rechazo a productos cerámicos, los moldes de yeso que no se pueden reutilizar, a la manipulación defectuosa de las materias primas, la generación de lodos por el tratamiento de los residuos líquidos, polvos de los equipos de control de la contaminación atmosférica y los residuos de mantención de la planta (aceite residual).

El rechazo de productos cerámicos por presentar alguna falla es fuertemente dependiente de la calidad exigida al producto, así tenemos que la porcelana presente mayores porcentajes de rechazo (aproximadamente 20%) que el de la loza de barro (0%), pasando por los sanitarios con un (6%).

En el caso de la porcelana se tiene claro que una reducción del porcentaje de rechazo requiere del compromiso de los trabajadores, tanto para minimizar las fallas, así como para detectar fallas antes de someterlo a cocción. En el caso de los sanitarios, la reducción del porcentaje de pérdida requerirá de un mejor control de las condiciones a las cuales se realiza la cocción.

En la tabla N° 3.5 se presenta los resultados de un estudio de caracterización de residuos sólidos generados por esta actividad industrial.

Tabla 3.5
Caracterización de residuos sólidos¹

Residuo sólido	Porcentaje (%)
Cerámica	98.30
Residuos de construcción	1.15
Residuos sólidos asimilables a domésticos	0.35
Papel y cartón	0.20
Plásticos	0.01

Fuente: KOKUSI KOGYO Co. Ltd. 1996. The Master Plan Study on Industrial Solid Waste Management in the Metropolitan Region of the Republic of Chile.

¹ En base a 610,4 toneladas mes generadas por una industria de 280 trabajadores

3.3 Residuos líquidos

Cuando se emplean productos en base a solventes, son empleados solventes para limpiar la línea de pintura y los equipos de aplicación. El residuo generado se debe gestionar como un residuo sólido.

Cuando son usados productos en base a agua, la línea de pintura y el equipamiento son limpiados con agua. Esta descarga de residuos líquidos debe estar sujeta a regulaciones por la presencia de metales pesados.

A un más, el lodo acumulado antes de la descarga debe ser gestionado como un residuo peligroso debido al contenido de metales pesados. Los lodos generados en la industria de la alfarería contienen comúnmente trazas de barniz, que contienen plomo, mercurio y boro.

El lodo generado del tratamiento de RILES del lavado de equipos, es comúnmente de la línea de barniz (molinos de barniz, tanques y contenedores de barnices), en donde aproximadamente un 10% (en peso) del barniz usado acaba en el lodo.

El residuo líquido conformado por el conjunto de descargas parciales generadas en el proceso productivo de la cerámica, se caracteriza por un alto contenido de sólidos suspendidos. En la tabla N° 3.6 se presenta una caracterización basada en datos de industrias locales.

Tabla 3.6
Caracterización de residuos líquidos

Parámetro	Unidades	Rango	Media
Sólidos suspendidos	mg/l	21.4 – 5979.1	1274.9
pH	Unidades	6.3 – 8.1	7.5

Fuente: elaboración propia a partir de Catastro SISS de 1998

Las normas que regulan la descarga a cursos de aguas superficiales y alcantarillado, Norma Emisión a Aguas Marinas y Continentales Superficiales y Decreto Supremo 609 respectivamente, fijan como límite de descarga para estos parámetros los valores que se indican en la Tabla N° 3.7.

Tabla 3.7
Normativa que regula los valores de pH y Sólidos Suspendidos en RIL

Parámetro	Unidades	Norma de Emisión a Aguas Marinas y Continentales superficiales	D.S. 609
Sólidos suspendidos	mg/l	300 ¹	300
pH	unidades	6.0-8.5 ¹	5.5 - 9.0

Fuente: elaboración propia a partir de normas indicadas

1 límite máximo aguas superficiales considerando la capacidad de dilución del cuerpo receptor

4 PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

4.1 Medidas de minimización de residuos

Las medidas que se pueden adoptar en la industria cerámica para minimizar la generación de residuos se muestran en los cuadros N° 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4

Cuadro N°4.1
Minimización de la pérdida de materias primas

- Inspeccionar a su arribo los contenedores para verificar daños, y así prevenir derrames innecesarios
- Revisar el procedimiento de manejo de materias primas para prevenir derrames durante la recepción y su manipulación
- Las áreas de ubicación de las pilas de materias primas, así como las vías de acceso correspondientes, deben estar pavimentadas
- Implementar una política de manejo de inventario bajo el concepto “primero que entra, primero que sale”, para prevenir que materias primas queden obsoletas y se convierta en residuo peligroso
- La altura de una pila de materiales pulverulentos no debe sobrepasar los muros de contención.
- Cubrimiento y cierre lateral completo en los almacenamientos de materiales a granel
- Cubrimiento de la superficie, p. ej. con lonas
- La selección del emplazamiento de las pilas de materias primas debe hacerse considerando su protección de los vientos y la minimización de los movimientos de vehículos
- Reducir el tráfico por el área de almacenaje, para prevenir derrames y la dispersión de material
- Almacenar los residuos peligrosos en áreas que tengan accesos que puedan cerrarse, para controlar el riesgo de derrames y que afecten las materias primas

Cuadro N°4.2
Sustitución de materias primas e insumos

- Sustituir por materiales no peligrosos para reducir o eliminar la generación de residuos peligrosos
- Sustituir por agentes de limpieza acuosos a los agentes derivados del petróleo
- Sustituir por detergentes biodegradables a los limpiadores en base solventes. Usando estos detergentes se pueden eliminar residuos peligrosos, tales como trapos contaminados, residuos de limpieza y contenedores vacíos
- Emplear agentes de acabado en base a agua, para eliminar el uso de solvente y sus emisiones
- Sustitución total, o parcial, por materiales sin sílice libre

CUADRO N°4.3 MODIFICACIÓN DEL PROCESO

- Humectación del material suprime, aunque no elimina, la evolución del material particulado
- Emplear secado por rociamiento, en la etapa de preparación de la pasta en polvo, ya que proporciona un método de preparación dentro de un sistema cerrado que permite que el material particulado no se escape
- Reemplazo de polvo pedernal por alúmina para el lecho de fusión para la cochura de porcelana fosfatada, para minimizar las emisiones de particulado. En este sentido apunta también el empleo de apoyos de perfiles para soportar los productos de arcilla durante la cocción, y así se elimina la necesidad de colocarlos sobre polvo.

Cuadro N°4.4 Reciclaje y reuso

- Reutilizar contenedores no dañados después del proceso de manipulación
- Retornar los contenedores vacíos al proveedor, si los acepta
- Reciclar o reutilizar polvo recolectado en filtros mangas y escoria de hornos, ya sea en la industria u otro emplazamiento
- Reciclar residuos de polvo seco como materia prima en el proceso de manufactura
- Reutilizar el esmalte excedente de la operación de rociado a spray
- Reciclar los productos con fallas (1-4%)

4.2 Reducción de las emisiones atmosféricas

4.2.1 Reducción de las emisiones de combustibles

En la producción de la cerámica, las operaciones de secado y cocción usan mucha energía. De estas operaciones, la cocción es la que más consume energía.

4.2.1.1 Conservación de la energía

La tabla N°4.1 muestra una clasificación de las técnicas de conservación de la energía en la industria cerámica.

Tabla N° 4.1
Técnicas de conservación de la energía

Etapas	Secado	Cocción
Buenas costumbres domésticas	Control de la combustión (temperatura de combustión)	- Control de la temperatura del gas agotado - Sellado horno - Enfriamiento del aire - Razón alimentación del aire - Organización de la cocción (curva de calor, distribución de la temperatura dentro del horno, presión del horno, atmósfera) - Patrón de carga del carro - Separación entre la pared del horno y el carro - Sellado de la arena - Velocidad del carro
Mejoras en el equipamiento	Aislante de calor	- Refractarios en el carro (para reducir su peso) - Refractarios en el horno periódico (para reducir el peso) - Forma del horno túnel - Recuperación del gas agotado - Velocidad del carro
Mejoras en el proceso		Conversión del horno túnel a horno de rodillos

Fuente: UNIDO.1994. "Output of a Seminar on Energy Conservation in Ceramic Industry". Handly Manual

4.2.1.2 *Conservación de la energía en el proceso de secado*

La estructura del secador se diseña, de forma que la pared externa esta provista de una tabla aislante de calor y lana para prevenir la disipación de calor.

Para mejorar la eficiencia de secado, también se usan secadores de tipo jet, en donde el aire caliente es lanzado de forma directa al objeto. Se debe encontrar la temperatura y humedad apropiada del aire, a objeto de evitar que la pieza se quiebre o se haga trizas por una temperatura excesiva o humedad, ya que el aire alcanza al objeto a muy alta velocidad.

4.2.1.3 *Conservación de la energía en la operación de cocción*

- **Calor transmitido por el gas agotado de la combustión**

Para reducir la pérdida de calor la diferencia de temperatura debe ser lo menor posible con respecto a la del ambiente. A este respecto se debe hacer notar que la aplicación de esta medida conlleva problemas debido a puntos de rocío. Cuando el combustible tiene un alto contenido de sulfuro, el punto de rocío es de 120°C a 160°C, debiendo la temperatura del gas agotado no ser menor a estos valores.

Este aire entrante no solo aumenta el volumen de gas agotado, sino que también reduce la temperatura cerca de la posición donde entra, causando diferencias de temperatura internas. Es por esto que pequeñas entradas deben ser selladas con fibras o materiales similares.

- **Calor transmitido por el carro del horno**

Minimizar las pérdidas de calor debido al uso de materiales con un calor específico alto y de alto peso, lo que se logra al usar ladrillos aislantes de calor o fibras cerámicas.

También en el caso de los hornos batch, el empleo de ladrillos aislantes y fibras cerámica en vez de ladrillos refractarios reduce el consumo de energía, al reducir el peso y el calor específico del horno.

- **Estructura del horno**

Para hornos de igual capacidad, la superficie de un horno que tiene forma similar aproximada a un cubo, puede llegar a ser la mitad de la de uno en que sea mucho más largo que ancho. Esta reducción del área, reduce la radiación de calor también a la mitad, lo que resulta en un ahorro substancial de combustible.

- **Razón de aire en el horno**

El parámetro ***m*** se denomina la razón de aire o razón de aire de exceso. Cuando ***m*** es mayor que 1, tiene lugar una combustión completa para crear una atmósfera oxidante; en contraste cuando ***m*** es menor a 1, tiene lugar una combustión incompleta creando una atmósfera reducida.

Generalmente, en la cocción de alfarería en atmósferas oxidantes es preferible que ***m*** esté dentro del rango de 1,2 – 1,5; debajo de 1,2 la cantidad de gas de combustión llega a ser insuficiente resultando en grandes diferencias de temperatura en el horno, mientras que sobre 1,5 el gas de combustión llega a ser excesivo resultando en pequeñas diferencias de temperatura dentro del horno, pero requiere más combustible del necesario.

Por otro lado, en atmósferas reducidas no hay necesidad de incrementar el valor más allá de lo necesario (***m*** igual o menor a 0,8). Para chequear en la práctica la razón de aire en la cámara de combustión, es posible calcularlo mediante análisis de gases para la cámara de combustión.

Para combustibles líquidos:

$$m = \frac{21 \times (\%_{v/v} N_2)}{21 \times (\%_{v/v} N_2) - 79 \times ((\%_{v/v} O_2) - 0,5 \times (\%_{v/v} CO))}$$

Para combustibles gaseosos

$$m = \frac{(\%_{v/v} O_2) - 0,5 \times (\%_{v/v} CO)}{\frac{5C_3H_8 + 6,5 \times C_4H_{10} \times (\%_{v/v} CO_2) + (\%_{v/v} CO)}{3C_3H_8 + 4C_4H_{10}}}$$

En donde C_3H_8 y C_4H_{10} corresponde al porcentaje de propano y butano contenido en combustible gaseoso.

En otras palabras, la manera más fácil de reducir las emisiones y conservar la energía no incurriendo en inversiones, es reduciendo la razón de aire.

Como se indicó en el balance de calor, la pérdida de gas agotado es grande. El volumen de gas agotado depende del valor de ***m*** del gas. Esto implica, que es importante minimizar el porcentaje de O_2 en el aire agotado para reducir su volumen.

- **Velocidad de los carros**

Una temperatura uniforme es esencial para asegurar una cocción rápida y asegura un producto de calidad estable y un mejor rendimiento.

Aun cuando no es ampliamente conocido, a mayor velocidad del carro menor es la cantidad de combustible consumido por carro en el horno túnel.

- **Empleo de horno de rodillos**

El requerimiento básico para reducir el consumo de combustible, es una cocción a alta velocidad del material en un mínimo de tiempo. El requerimiento para una cocción rápida en un horno túnel, es que la temperatura sea uniforme en todas las zonas – altas, bajas, a la izquierda y a la derecha – de una sección de área en ángulo recto al paso del carro.

Para lograr una temperatura uniforme se requiere una altura reducida al interior del horno; la razón entre ancho y altura en hornos es normalmente 1,0 a 0,8. Si la razón se reduce a 1,0 a 0,2 va a permitir reducir aún más la diferencia de temperatura entre lo más alto y el fondo.

El horno de rodillos es el horno con la altura más reducida. Este horno está diseñado como un horno continuo, en donde los rodillos transportadores están instalados desde la entrada hasta la salida. Este horno elimina el uso de carros.

Las diferencias de temperatura en el horno de rodillo están dentro de más menos 3 °C con respecto al lugar de máxima temperatura, y este funcionamiento asegura una calidad estable de los productos que son sometidos a cocción y aumenta el rendimiento.

Pequeñas diferencias de temperatura permiten una cocción más rápida del producto que en un horno convencional, requiriendo menos combustibles, como se indica en las tablas N° 4.2. y 4.3.

Para acortar el tiempo de cocción, así como para reducir el peso de los refractarios del horno, los hornos modernos, usan quemadores de alta velocidad o exceso de aire en el quemador, agitando el interior del horno para asegurar una distribución de temperatura uniforme.

Tabla 4.2
Temperatura y tiempo de cocción

Artículo	Operación	Temperatura (°C)	Horno túnel convencional (en horas)	Horno de rodillos (en horas)
Vajilla	Decoración	750-850	2-5	2
	Cocción en bizcocho	800-1000	20-30	2
	Cocción glost	1250-1350	30-40	4
	Barnizado	1200-1300	30-40	2
Baldosa	Piso	1250-1300	20-30	1,3
	Pared	1060-1150	20-30	0,5
Sanitario		1220-1250	20-30	7

Fuente: UNIDO.1994. "Output of a Seminar on Energy Conservation in Ceramic Industry". Handly Manual

Tabla 4.3
Eficiencia térmica

Artículo	Operación	Horno túnel convencional (kcal / kg)	Horno de rodillos (kcal / kg)
Vajilla	Decoración	2500-4000	1500-2500
	Cocción en bizcocho	2500-4000	1500-2500
	Cocción glost	5000-7000	3000-4000
	Barnizado	4000-5000	2000-3000
Baldosa	Piso	2300-3500	1200-1400
	Pared	1500-2500	500-600
Sanitario		5000-7000	3000-4000

Fuente: UNIDO.1994. "Output of a Seminar on Energy Conservation in Ceramic Industry". Handly Manual

4.2.2 Reducción de NOx

La que se considera aplicable en la reducción de emisiones de NOx para este tipo de industrias es la utilización de quemadores de bajo NOx, los cuales están especialmente diseñados para disminuir la generación de este tipo de contaminante, obteniéndose reducciones del 40% en las emisiones de NO.

4.2.3 Reducción del material particulado

Prácticas apropiadas en el quemado de combustible y en la configuración de la zona de combustión, junto con una cantidad adecuada de aire en exceso puede permitir alcanzar una reducción de los productos de una combustión incompleta.

La reducción de las emisiones de partículas a la atmósfera se puede reducir mediante la elección de combustibles limpios. El uso de gas natural como combustible emite cantidades de material particulado despreciables.

Procesos basados en el empleo de petróleo, también emiten una menor cantidad de material particulado que los procesos de combustión basado en la quema de carbón como combustible.

4.2.4 Reducción de la emisión de COVs

El empleo de productos como pintura y barniz al agua pueden ser sustituto de productos en base a solvente, reduciendo la emisión de compuestos volátiles en la etapa de acabado.

4.2.5 Reducción de las emisiones de HF

Se puede lograr importantes reducciones en las emisiones de HF, si se adiciona cal a la mezcla de arcilla que va a ser sometida a cocción.

4.3. Minimización de pérdidas de sanitarios durante la cocción

Como consecuencia del secado, donde el contenido de humedad se reduce aproximadamente del 23% a 0,0 – 0,5%, las partículas ya no se puede juntar más y cesa el encogimiento de la pieza. En este punto la evaporación superficial disminuye en los poros de la pieza, y la tasa de secado comienza a ser más lenta. La reducción de la tasa de secado continua hasta que el ciclo de secado se completa.

La tasa de evaporación en la superficie no debe exceder la tasa con que el agua es transportada desde el interior de la pieza a la superficie, ya que crea un gradiente de concentración muy grande de agua en la pieza en donde las partículas de la superficie quedan fijas en una posición. A medida que el secado continúa, las regiones internas de la pieza siguen encogiéndose, desarrollando tensiones con la superficie. Esta tensión puede llevar a agrietamientos o deformaciones en la pieza.

Una solución práctica es **calentar la pieza en aire húmedo**. El aire húmedo retarda la evaporación de la superficie, permitiendo que el agua al interior de la pieza absorba energía en forma de calor reduciendo la viscosidad, disminuyendo el gradiente de humedad entre la superficie y el interior de la pieza .

Un concepto importante del proceso de secado es el “*punto crítico de encogimiento*”. Este es el punto en el cual el encogimiento termina. Cuando se alcanza el punto crítico de encogimiento, la tasa de secado pasa a ser más lenta. A partir de este momento, en que las partículas en la pieza están en una posición fija, la temperatura puede gradualmente ser incrementada y la humedad gradualmente reducida. Esto facilita el secado hasta que evaporación en la superficie dentro de la pieza disminuye.

Si el contenido de humedad de la pieza es mayor a la humedad correspondiente a la humedad del punto crítico de encogimiento, se puede ajustar las variables humedad relativa y tiempo de residencia.

4.4 Reducción de la carga contaminante en los residuos líquidos

El exceso de barniz, aplicado por rocío en las operaciones de acabado también puede ser recuperado si no está contaminado. El exceso de barniz del rocío es a menudo arrastrado con agua y colectado en cámara de sedimentación, de donde puede ser reutilizado y reintroducido como materia prima.

5 CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN

5.1 Control de residuos líquidos

Los principales contaminantes presentes en los residuos industriales líquidos son:

- sólidos suspendidos
- metales pesados

Los residuos líquidos que aportan metales pesados son, principalmente, los provenientes de la línea de barniz, y aquellos provenientes 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 y de los sólidos suspendidos 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.

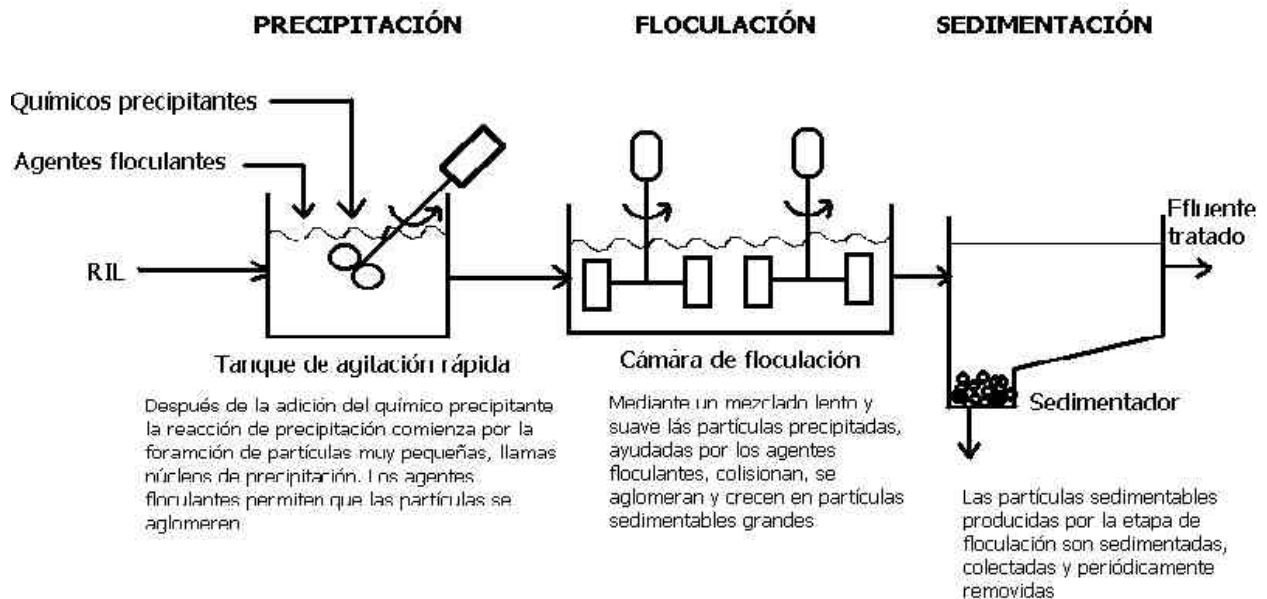
Puesto que los RILES con metales pesados se generan solo en algunos puntos, es relevante para su tratamiento considerar los beneficios de segregar estos residuos líquidos de otros, a objeto de reducir los costos de inversión.

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° 5.1 se indica el diagrama de flujo del tratamiento, sin ajuste de pH.

Figura N° 5.1
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

5.1.1 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.

5.1.1.1 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.

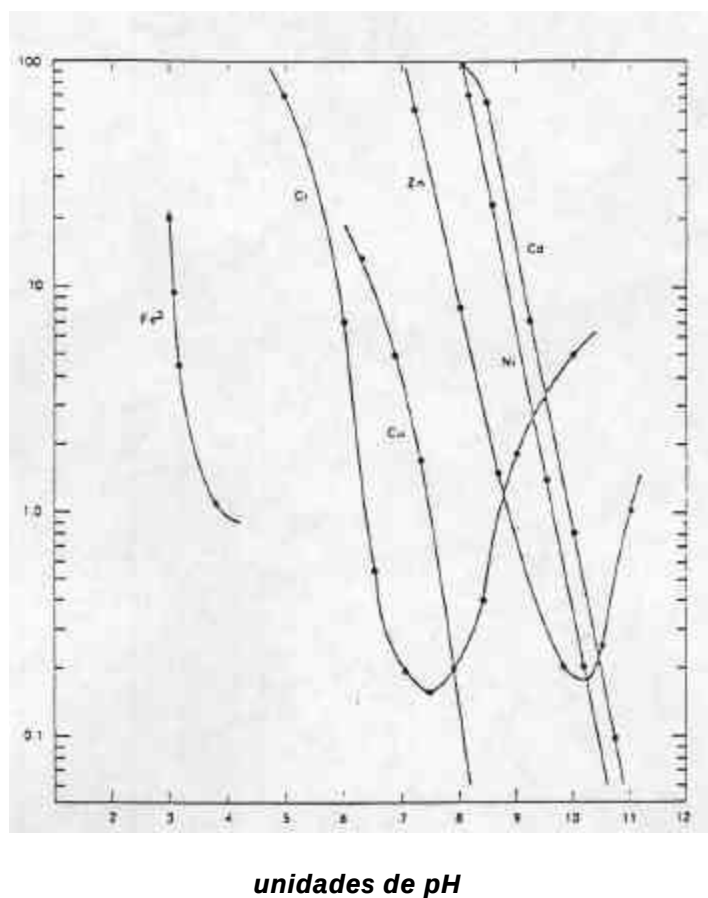
La conversión de los metales pesados a hidróxidos, cuyos productos de solubilidad suelen ser lo suficientemente bajos es la forma más económica de precipitarlos, en la cual la cantidad de iones de metales pesados remanentes en solución está estrechamente relacionada al pH de la solución. Esta cantidad 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° 5.2 y 5.3.

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

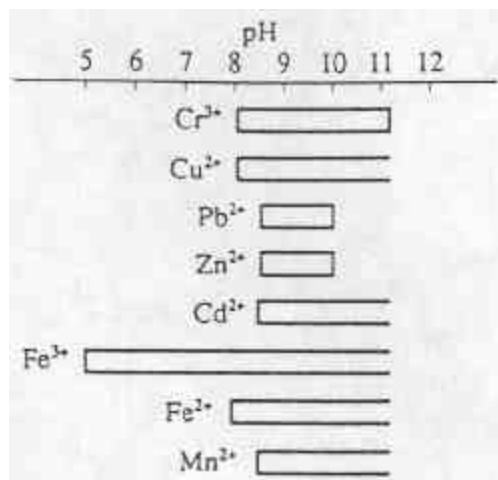
forma sólida, precisando en estos casos de un mayor tiempo de retención, al tratarse de una reacción sólido - líquido.

Figura N° 5.2
Solubilidad de los metales pesados
(mg/l) con respecto al pH



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

Figura N° 5.3
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 redundaría 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° 5.1 se indica para que metales pesados es efectiva cada técnica de precipitación.

Tabla N° 5.1
Efectividad de remoción de metales pesados
para diferentes técnicas

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

¹ 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° 5.2 se indican características de las técnicas de precipitación.

Tabla N° 5.2
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 Cheremisinoff, Paul., "Handbook of water and wastewater treatment technology".1995. Marcel Dekker, Inc.

En la tabla N° 5.3 se indican las características de la precipitación de ciertos metales pesados.

Tabla N° 5.3
Características de la precipitación de ciertos metales pesados

Metal pesado	Características de la precipitación
Arsénico	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 El arsénico puede ser también removido por coprecipitación con FeCl_3 cuando se forman flóculos de $\text{Fe}(\text{OH})_3$. La concentración del efluente tratado es de 0,005 mg/l
Bario	Puede ser removido mediante la precipitación como sulfato añadiendo cualquier fuente de iones de sulfato La solubilidad del sulfato de bario es 1,4 mg/l Igual es posible obtener concentraciones de bario residual menores (0,5 mg/l) usando exceso de iones sulfatos
Cadmio	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 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) El cadmio puede ser removido mediante precipitación con sulfuro. La concentración del efluente es de 0,05 mg/l El cadmio puede ser también removido por coprecipitación a pH 6,5 con FeCl_3 cuando se forma flóculos del $\text{Fe}(\text{OH})_3$
Plomo	Puede ser removido por precipitación como hidróxido (cal) a pH 11,5. La concentración del efluente es de 0,02-0,2 mg/l Puede ser removido por precipitación como sulfuro a pH 7,5-8,5 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
Mercurio	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 Puede ser removido mediante coprecipitación con alúmina. La concentración del efluente es de 0,001-0,01 mg/l Puede ser removido mediante coprecipitación con FeCl_3 cuando es formado un flóculo de $\text{Fe}(\text{OH})_3$. La concentración del efluente es de 0,00005-0,005 mg/l

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

5.1.1.2 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 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, CaCl_2 o FeSO_4 puede ser usado para coagular partículas coloidales para formar precipitados.

5.1.1.3 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.

5.1.1.4 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.

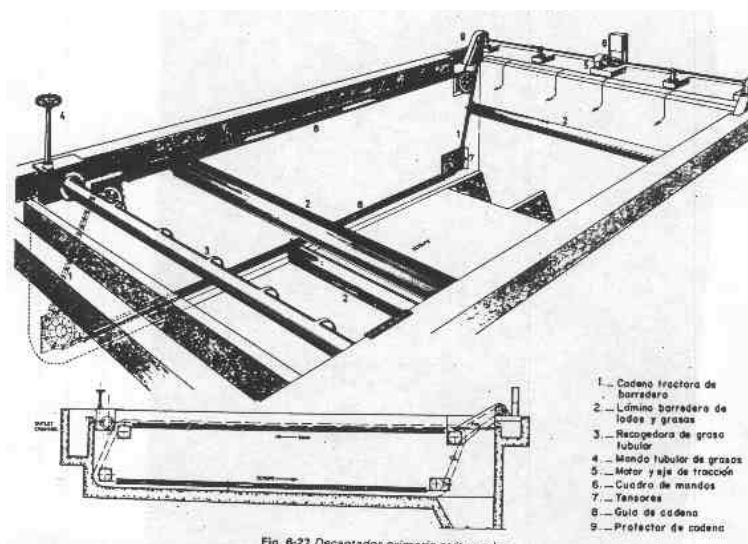
Uno de los principales objetivos al diseñar equipos de sedimentación (circulares o rectangulares) es crear una estabilidad de manera que las partículas en suspensión con una densidad mayor que la del líquido se sedimenten. Los tanques de sedimentación deben separar una gran variedad de sólidos en suspensión.

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° 5.4. 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° 5.4
Sedimentador rectangular



5.1.1.5 *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.

5.1.1.6 *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° 5.5 se muestra un filtro de prensa

Figura N° 5.5
Filtro prensa para deshidratar los lodos



5.1.1.7 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 Métodos de control de emisiones de la atmósfera

Considerando las características de las emisiones atmosféricas de la industria cerámica:

- Reducida carga de material particulado proveniente de los hornos debido a la utilización de combustibles limpios (gas licuado, de cañería o natural).
- Tamaños de partícula relativamente grande, cuando estas provienen de operaciones de molienda.
- Reducida o nula presencia de sulfuro en los gases de escape, existiendo muy poca formación de ácido sulfúrico.
- Posible formación de ácido fluorhídrico dependiendo de las materias primas utilizadas.
- Presencia de metales pesados en el material particulado.

Los equipos que mejor se ajustan a este tipo de emisiones, tanto por razones económicas como técnicas son los filtros de manga.

Estos equipos alcanzan altas eficiencias de captación, teniendo la ventaja de captar el polvo en seco, no generándose residuos líquidos a tratar. Sin embargo, necesitan un control acucioso de la temperatura de los gases de entrada para evitar quemar las mangas, 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.

Aunque existe la posibilidad de aplicar equipos de control húmedo su uso no es recomendado, debido a que se generan residuos líquidos conteniendo metales pesados lo que obliga a invertir en nuevos equipos que permitan su remoción.

En las empresas nacionales se emplean en la actualidad solamente equipos secos (filtros de manga), y en ocasiones debido al uso de gas como combustible y a las características de sus emisiones, no es utilizado equipo alguno.

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

5.2.1 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, nylones, 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

5.2.1.1 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 $[\mu\text{m}]$ (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.

5.2.1.2 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.

5.2.1.3 Rangos de operación

- a. Caudal de aire:** Los filtros de mangas se separan en dos grupos, estándar y hechos 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 g/m^3 y

en un cierto número de casos, hasta tan bajo como de 0,002 a 0,011 gr/m³. En Chile, en aplicaciones en hornos de vidrio con oxi- combustión se han observado niveles tan bajos como 8 mg/m³N.

5.2.1.4 *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.

5.2.1.5 *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.

5.2.1.6 *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.

5.2.1.7 *Aplicación en la cerámica*

Dado el rango de temperaturas de esta industria no existen problemas con respecto a la aplicación de filtros manga.

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.

5.2.2 Venturi scrubber

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

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.

5.2.2.1 *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 μm (MP_{10}), así como MP menor o igual a 2.5 μm ($\text{MP}_{2,5}$). 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.

5.2.2.2 *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 μm .

5.2.2.3 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 [m³/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/m³ 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”.

5.2.2.4 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.

5.2.2.5 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.

5.2.2.5 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.

5.2.2.6 Aplicación en la industria de la cerámica.

Un 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.

5.3 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) a Depósito de Seguridad
- Residuos sólidos no peligrosos (cerámica, residuos de construcción, residuos sólidos asimilables a domésticos, plásticos, papel y cartón) 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 Salud¹.

¹ 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 etodológicas 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:

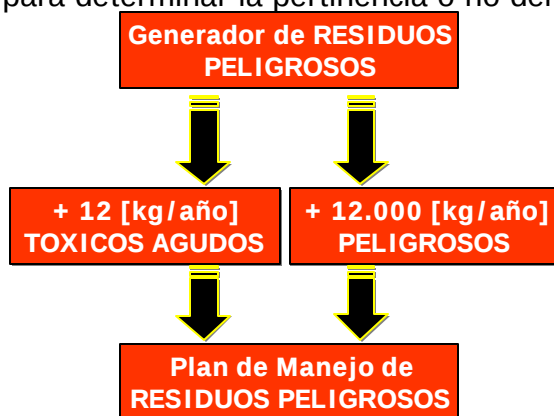


Figura 6.1: Aplicabilidad de PMRP

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 N° 6.1
Relación de Residuos “Típicos” con Residuos Peligrosos

Materia Prima	Listado	Analítico CMP ²
	Listado Y	
Recepción y almacenamiento de materias primas	Y31 ³ , Y27 ⁴ , Y12 ⁵	
Control de calidad del producto		
Elaboración de moldes		
Elaboración de barnices	Y12	
Terminado	Y12	
Hornos y caldera	Y48 ⁶ (Y31, Y27, Y12)	

En particular para las materias primas se tiene lo siguiente

Tabla N° 6.2
Relación de Materias Primas con Residuos Peligrosos

Materia Prima	Listado	Analítico CMP ⁷
	Listado Y	
Caolín		
Feldespatos		
Arcillas		
Cuarzo		
Arena Sicilia		
Esmalte		
Yeso		
Dolomita		
Carbonato de calcio		
Fritas		
Opacificantes		
Calizas		
Silicato de circonio		
Oxidos de zinc		
Silicato de sodio		
Pigmento	Y12	
Agentes fundentes		
Bórax		
ácido bórico		
carbonato de sodio		
nitrito de sodio		
carbonato de potasio		
nefalina sienita		
huesos calcinados		

² Toxicidad por lixiviación.

³ Y31: Plomo, compuestos de plomo

⁴ Y27: Antimonio, compuestos de antimonio

⁵ Y12: Residuos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices.

⁶ Y48: Partículas o polvos metálicos

⁷ Toxicidad por lixiviación.

Materia Prima	Listado	Analítico CMP ⁷
	Listado Y	
Apatita		
fluoruro de calcio		
Criolita		
óxidos de hierro		
óxidos de antimonio	Y27	
óxidos de plomo	Y31	TL4
minerales de litio		
minerales de bario		TL6
Agentes Refractarios		
alúmina		
olivina		
cromita		
magnesita		
cal y caliza		
zirconia		
titania		
silicatos de magnesio hidratados (por ejemplo talco)		
silicatos de aluminio		
dumortierita		
carburo de silicio		
mulita		
dolomita		
dióxido de torio		

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 N° 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

Sección	Tema	Detalle
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 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 N° 6.4
Referencias para desarrollar un Plan de Manejo de Residuos Peligrosos

Sección	Tema	Referencias en Guía
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 DEL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN

7.1 Contaminación hídrica

7.1.1 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.

7.1.1.1 Costo precipitación química en 4 estanques

El costo de tratamiento de un RIL con la composición que se indica en la tabla N° 7.1, tiene los costos de capital y mantención y operación que se indican en la tabla N° 7.2. En la Tabla N° 7.1 también se indica la calidad del efluente tratado y los valores exigidos para los parámetros regulados por la normativa chilena.

Tabla N° 7.1
Carterización del RIL y valores normas nacionales

Parámetro	C _e (mg/l)	C _s (mg/l)	D.S. 609 (mg/l)	Norma ¹
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
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

1 Norma descarga a aguas marinas y continentales superficiales

C_e: concentración de entrada

C_s: concentración de salida

Tabla N° 7.2
Costo de capital, operación y mantención
de un sistema de 4 estanques para tratar
un RIL de composición indicada en la Tabla N° 7.1

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

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

¹ 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.

² 0.004% corresponde a reactivo y 98 % mano de obra

³ 0.028% corresponde a reactivo y 97.8 % mano de obra

⁴ 3.062% corresponde a reactivo y 92.7 % mano de obra

⁵ 2 HH por cada batch (4 al día)

7.1.1.2 Costo precipitación química en 1 estanque

El costo de tratamiento de un RIL con la composición que se indica en la tabla N° 7.3, tiene los costos de capital y mantención y operación que se indican en la tabla N° 7.4. En la Tabla N° 7.3 también se indica la calidad del efluente tratado y los valores exigidos para los parámetros regulados por la normativa chilena.

Tabla N° 7.3
Carterización del RIL y valores de normas nacionales

Parámetro	C_e (mg/l)	C_s (mg/l)	D.S. 609 (mg/l)	Norma ¹
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
Níquel	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		

1 Norma descarga a aguas marinas y continentales superficiales

C_e: concentración de entrada

C_s: concentración de salida

Tabla N° 7.4
Costo de capital, operación y mantención
de un sistema de 1 estanque para tratar
un RIL de composición indicada en la Tabla N° 7.3

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

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

¹ 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.

² 0.035% corresponde a reactivo y 92.6 % mano de obra

³ 0.336% corresponde a reactivo y 91.6 % mano de obra

⁴ 23.1% corresponde a reactivo y 64.3 % mano de obra

⁵ 2 HH por cada batch (1 al día)

7.1.1.3 Costo de reactivos empleados en la precipitación

A continuación, solo como referencia, se da en la Tabla N° 7.5 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 N° 7.5
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 ₃	0,01300	27
Carbonato de sodio	NaCO ₃	0,01418	38

Fuente: elaboración propia

7.1.2 Indicadores de costo de tecnologías de remoción de sólidos suspendidos

En la tabla N° 7.6 se presenta los costos de capital, mantención y operación de un clarificador.

Tabla N° 7.6
Costo de capital, operación y mantención
de un sistema de clarificación¹

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

¹ la concentración de de entrada es de 40000 mg/l y la alimentación es de 1.02 m³/día/m², 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

7.1.3 Indicadores de costo de tecnologías de deshidratación de lodos

Se presentan en la tabla N° 7.7 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 N° 7.7
Costo de capital, operación y mantención
de un sistema de clarificación

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

¹ 92.7 % mano de obra

² 92.6 % mano de obra

³ Requiere 30 minutos por batch

7.2 Costos de la aplicación de métodos de control de emisiones de la atmósfera

7.2.1 Filtros de tela

En la tabla N° 7.8 se presentan los rangos de costo (expresados en dólares al tercer trimestre de 1995) para filtros de tela lavados por distintos medios, se ha analizado un diseño convencional bajo condiciones típicas de operación, los costos han sido elaborados utilizando los formatos de la *EPA* para estimación de costos. 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. En general, las unidades más pequeñas que controlen una corriente de contaminante de baja concentración, no serán tan efectivas en cuanto a costos, como una unidad que purifique un flujo con una carga alta de contaminante.

TABLA N° 7.8
Costos asociados a la adquisición y operación de filtros de manga

Tipo de lavado	Capital \$/ [m ³ /s]	Ope. y manteni. \$/ [m ³ /s]	Anualizado \$/ [m ³ /s]	Costo efectividad \$/Ton
Sacudimiento mecánico	32.000 – 320.000	6.400 – 45.000	11.000 – 105.000	40 – 370
Aire inverso	30.000 – 275.000	8.500 – 42.000	11.000 – 105.000	41 – 350
Chorro pulsante	11.000 – 275.000	8.500 – 42.000	8.500 – 95.000	32 – 330

7.2.2 Venturi scrubber

A continuación se muestran, los costos asociados a la utilización de scrubber tipo venturi (expresados en dólares al tercer trimestre de 1995), se ha analizado un diseño convencional bajo condiciones típicas de operación, los costos han sido elaborados utilizando los formatos de la *EPA* para estimación de costos. Para efecto de los cálculos de costo efectividad, se asume que el contaminante en estudio es MP con una carga en la entrada de aproximadamente 7 [g/m³]. Los costos no incluyen costos de post – tratamiento o disposición de los residuos generados en la operación del venturi. Los costos pueden significativamente mayores a los rangos mostrados para aplicaciones donde se requieran insumos caros, solventes, o métodos de tratamiento.

En general, las unidades más pequeñas que controlen una corriente de contaminante de baja concentración, no serán tan efectivas en cuanto a costos, como una unidad que purifique un flujo con una carga alta de contaminante.

- a. *Costo de Capital*: \$6.700 a \$59.000 por [m³/s].
- b. *Costos de Operación y Mantenición*: \$8.700 a \$250.000 por [m³/s].
- c. *Costo anualizado*: \$9.700 a \$260.000 por [m³/s], anualmente.
- d. *Costo efectividad*: \$84 a \$2.300 por tonelada de contaminantes controlados.

7.3 Instrumentos Financieros de Apoyo a la Gestión Ambiental

La Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) posee varios instrumentos de apoyo financiero para que el sector industrial (PYME) introduzca medidas tendientes a mejorar la Gestión Ambiental. Para gastos de asesorías técnicas se han creado los siguientes mecanismos de financiamiento.

A continuación se listan los principales instrumentos y su aplicación ambiental:

- Fondo de Asistencia Técnica (FAT): Consultoría ambiental, Auditorías Ambientales, Estudios Técnico Económicos para la implementación de soluciones, Estudios de Impacto Ambiental o Declaraciones de Impacto Ambiental, Estudios de Reconversión y Relocalización Industrial, Implementación de Sistemas de Gestión Ambiental.
- Las empresas que pueden acceder a este beneficio son aquellas con ventas anuales no superiores a UF 15.000, pudiendo acogerse a este sistema sólo una vez.
- Programa de Apoyo a la Gestión de Empresas Exportadoras (PREMEX): Implementación de Sistemas de Gestión Ambiental, Certificación ISO 14.000, Certificación de Calidad ISO 9000 (alimentos), Reciclabilidad de Envases y Embalajes.
- Estos recursos están disponibles para todas las empresas exportadoras de manufacturas y software con exportaciones de US\$ 200.000 o más acumulados durante los dos últimos años y ventas netas totales de hasta US\$ 10.000.000 en el último año.
- Proyectos de Fomento (PROFO): Programas Grupales de Implementación de Sistemas de Gestión Ambiental, Mercado de Residuos (bolsa) Plantas Centralizadas de Tratamiento de Residuos, Programas Colectivos de Mejoramiento de Procesos, Programas Colectivos de Relocalización Industrial.
- Los beneficiarios son pequeños o medianos empresarios de giros similares o complementarios con ventas anuales no superiores a las UF 100.000.
- Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y Productivo (FONTEC): Fondo destinado al financiamiento de proyectos de innovación e infraestructura tecnológica. Puede ser utilizado para la introducción de tecnologías limpias, tecnologías “end of pipe”, misiones tecnológicas (Charlas de Especialistas Internacionales). Permite financiar hasta un 80 % del costo total del proyecto mediante una subvención de proyecto y crédito.

- Subvención de hasta un 60% del costo, con un máximo de US\$ 300.000 y crédito en UF, a tasa de interés fija con un período de gracia equivalente a la duración del proyecto.
- Programa SUAF–CORFO: Subvención que CORFO ofrece a las empresas para la contratación de un consultor especialista en materias financieras quién elaborará los antecedentes requeridos por el Banco Comercial o empresa de Leasing para aprobar una operación crediticia.
- Las empresas deben poseer ventas netas anuales menores a UF 15.000, comprobado por las declaraciones del IVA, no deben haber cursado operaciones financieras en los últimos 6 meses, no debe tener protestos ni ser moroso de deuda CORFO o SERCOTEC.

Créditos Bancarios

- Financiamiento de Inversiones de Medianas y Pequeñas Empresas (Línea B.11): Programas de descontaminación, Servicios de Consultoría, Inversiones.
- Financiamiento de Inversiones de Pequeñas Industrias Crédito CORFO–Alemania (Línea B12): Relocalización Industrial.
- Cupones de Bonificación de Primas de Seguro de Crédito y de Comisiones de Fondos de Garantía para Pequeñas Empresas.(CUBOS): Garantías para otorgar financiamiento (hipotecas, prendas) que cubren en un % el riesgo de no pago
- Las empresas deben tener ventas netas anuales que se encuentren entre las UF 2.400 y las UF 15.000 (IVA excluido) con un mínimo de 12 meses de antigüedad en el giro y un patrimonio neto de UF 800. El monto mínimo de la operación es de UF 150 con un máximo de UF 3.000.

8 SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL

8.1 Productos químicos peligrosos y tóxicos

8.1.1 Metales pesados

Dentro del conjunto de metales pesados que son emitidos a la atmósfera es el plomo el que presenta el mayor riesgo, tanto por su toxicidad como por ser utilizado en forma significativa en la elaboración del barniz a emplear en la cerámica.

Muchos humos que contienen metales generados a altas temperaturas, son altamente tóxicos por inhalación. Debido a que el plomo se vaporiza a temperaturas relativamente bajas es especialmente peligroso, lo que se produciría con toda seguridad en la etapa de cocción de la cerámica.

8.1.2 Sílice

La sílice libre, asociada a la arena, la perlita y la vermiculita, es altamente tóxica por inhalación. La vermiculita esta también frecuentemente contaminada con asbesto. Se han registrado casos de silicosis por la inhalación crónica de grandes cantidades de sílice libre durante la mezcla de la arcilla.

8.1.3 HF

Exposiciones agudas a inhalación de gas HF puede causar daño respiratorio severo en los humanos, incluida una irritación severa y un edema pulmonar. Una irritación ocular severa y quemaduras en la piel pueden ocurrir ocurrida una exposición del ojo o de la piel.

Exposiciones a inhalación crónica a bajos niveles, resultan en irritaciones y congestión nasal, torácica y bronquial.

8.1.4 Productos de la combustión y cocción

El cloro, flúor, dióxido de sulfuro, dióxido de nitrógeno y ozono son altamente tóxicos si se inhalan. La cocción bizcocho de arcillas altamente sulfurosas han causado grandes cantidades de dióxido de sulfuro asfixiante.

El monóxido de carbono generado en los hornos que emplean combustible o de la combustión de materia orgánica de la arcilla es altamente tóxico por inhalación y puede causar privación de oxígeno.

La inhalación de grandes cantidades de estos gases puede resultar en problemas agudos o crónicos en los pulmones. Inhalación de estos gases a concentraciones bajas, por períodos prolongados puede causar bronquitis crónica y efisema. El gas flúor puede causar también problemas a los dientes y huesos.

8.1.5 Otras fuentes de peligro a la salud

En el cuadro N° 8.1 se señalan otras situaciones de riesgo a las que están expuestos los trabajadores.

Cuadro N° 8.1 Peligros potenciales en la industria de la cerámica

- La inhalación crónica de caolín es moderadamente peligrosa, y puede resultar en caolinosis.
- Ciertos compuestos colorantes que contienen metales, son conocidos o probables agentes cancerígenos para el hombre: arsénico, berilio, cadmio, cromo (VI), níquel y uranio
- Compuestos colorantes de antimonio, bario, cobalto, plomo, litio, manganeso y vanadio, son altamente tóxicos por inhalación.
- Compuestos de antimonio, arsénico, cromo, vanadio y níquel son moderadamente tóxicos al contacto con la piel.
- El asbesto es extremadamente tóxico por inhalación y posiblemente por ingestión. La inhalación de asbesto causa asbestosis y cáncer pulmonar, estomacal e intestinal.
- Neumonía hipersensitiva, asma y otros problemas respiratorios pueden ocurrir como consecuencia de la inhalación de arcilla vieja seca, y por la exposición a hongos, que crecen en la arcilla húmeda. Los hongos pueden causar o exacerbar problemas en la piel.
- Otros fundentes como el bario y el litio son también altamente tóxicos por inhalación, pero menos que el plomo.
- Ceniza de soda, carbonato de potasio, feldespatos alcalinos y fluoresspatos usados en barnices son irritantes de la piel
- Los barnices que contienen solventes son inflamables y peligrosos

8.2 Protección de la salud

En el cuadro N° 8.2 se señalan las medidas que se deben adoptar para evitar o minimizar los riesgos asociados a la contaminación por plomo

Cuadro N° 8.2

Medidas con respecto al plomo

- Usar barnices sin plomo.
- Emplear barnices húmedos no emite partículas.
- En el empleo de fritas la temperatura de cocción no debe superar los 1.170 °C, debido a la formación de humos con plomo.
- El más alto riesgo se corre al tragar las partículas finas de plomo en polvo o al inhalar polvo o vapores:

Estrictas precauciones deben ser notificadas cuando se mezcle, aplique o se someta a cocción el barniz.

La aplicación de barniz mediante spray requiere que la cabina de barnizado ventee los gases al exterior.
- Pesar y mezclar los barnices en polvo usando una cámara extractora de gases o empleando una mascarilla provista de un filtro para partículas. Hay que reemplazar el filtro regularmente.
- Limpiar las áreas de trabajo regularmente mediante limpieza en húmedo, no barriendo o cepillando en seco. Aparatos y equipos se deben limpiar con esponjas húmedas
- Debe estar prohibido comer y fumar en las áreas de trabajo
- Asegurarse de que el plomo esta adecuadamente almacenado para evitar su diseminación
- Los residuos, incluido los RILES, que contienen plomo debe ser dispuesto de acuerdo a la normativa. Los líquidos se deben manejar en un contenedor sellado que sea seguro
- Si se emplean equipos de limpieza que trabajan a una presión menor que la atmosférica, hacerlo solo si está equipado con filtro de alta eficiencia de partículas en el aire
- Usar ropa de trabajo cuyo material o diseño no permita retener polvo. Lavar esta ropa semanalmente y no en conjunto con otro tipo de ropa
- El trabajador se debe duchar y lavar el pelo lo antes posible después de terminada la jornada de trabajo

Cuadro N° 8.3

Medidas con respecto a otros elementos peligrosos

- Limpiar los derrames reduce el riesgo de inhalaciones o ingesta de polvos tóxicos.
- Los barnices con base a solvente requiere que la cabina sea a prueba de explosiones.
- Una buena capacidad de ventilación para la dilución o un sistema de venteo local, debe ser empleado cuando se aplica barnices con base a solvente. También se debe considerar una campana de evacuación para el control del polvo
- Todos los mezcladores de arcilla para remover partículas de sílice del aire deben estar equipados con sistemas de ventilación de evacuación local con flujo de aire alejado de la zona de respiración del trabajador.
- Los sistemas de ventilación local se deben aplicar bajo el máximo grado de aislamiento para evitar el escape de polvo
- Aislamiento del local de trabajo por cierre completo, acoplado con ventilación de evacuación, de la planta o del proceso, para el control de material particulado
- Los procesos que generan material particulado, como el pulido, debe realizarse dentro de un recinto con evacuación de aire
- Utilizar una mascarilla con un filtro apropiado si no son eficaces otras medidas de control del sílice libre.
- Transportar los materiales en un sistema cerrado y con evacuación del aire, para el control de material particulado
- Reconocimientos médicos periódicos de aquellos trabajadores expuestos a la sílice libre
- Si es posible, no use colorantes que se sabe son cancerígenos y evite el empleo de probables cancerígenos
- No usar talcos con asbestos o contaminados con asbestos

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

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, O₃ y latente por NO₂, 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 Secretaría 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 ocupacional⁸

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

⁸ La repartición y fecha corresponden al Decreto Supremo citado en cada norma, y por el cual se oficializó la respectiva Norma Chilena. Para conocer el contenido de cada Norma, dirigirse al INN.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

El proceso de elaboración de productos cerámicos tiene varias etapas que tiene un potencial muy alto de generar emisiones a la atmósfera, que tanto como afecta la calidad del aire ponen en riesgo la salud de personal que labora en las instalaciones.

Los principales contaminantes atmosféricos son la sílice y el plomo. El control de estas emisiones debe considerar prácticas de minimización, como el empleo de materiales libres de sílice, y una combinación de sistemas de captación-conducción (para evitar su fuga) con equipos de captación de estos contaminantes.

Los RILES que resultan de la elaboración de productos cerámicos se caracterizan por un alto contenido de sólidos suspendidos y 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 cerámica es un productor potencial de residuos peligrosos y dependiendo de la cantidad de éstos, requeriría un Plan de Manejo de Residuos Peligrosos (PMRP).

Se sugiere por su relevancia considerar el problema de lixiviación de plomo y otros metales en los artículos cerámicos que están destinados a estar en contacto con los alimentos. Para reducir el riesgo se debe emplear barniz de fritada, el que se debe formular, aplicar y someter a cocción de manera adecuada.

12 REFERENCIAS

- UNIDO.1994. "Output of a Seminar on Energy Conservation in Ceramic Industry". Handly Manual
- Austin, George.1992.Manual de Procesos Químicos en la Industria.Mc Graw Hill
- 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
- Padruno B.Jaime. 1990. "Estudio de factibilidad técnico y económica de instalar una planta de vajilla cerámica" Memoria Depto. Ingeniería Industrial. Universidad de Chile
- USEPA AP-42 Section 11.7 (1996)
- Cynthia Galvez Bernal.1997.Sistemas de cocción cerámico. Facultad de Artes Plásticas. Universidad de Chile
- State of California, EPA DTSC.1994. "Waste minimization For The Ceramics Products Ind."
- Claussen, John; Fish Russ.1997. "Successfully Drying sanitaryware" Clayworld Inc.
- Cheremisinoff, Paul., "Handbook of Water and Wastewater treatment technology".1995. Marcel Dekker, Inc
- "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 Environment Research Laboratory. Office of Research and Development. EPA-600/2-80-076
- Organización Internacional del Trabajo. "Enciclopedia de Higiene Industrial". OIT-74

INDICE

Página

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	Representatividad e indicadores económicos del sector	2
1.3	Importancia del sector en la Región Metropolitana con relación a los aspectos ambientales.....	4
1.3.1	Contaminación atmosférica.....	4
1.3.2	Contaminación hídrica en la Región Metropolitana	4
2	ANTECEDENTES DE LA PRODUCCIÓN.....	5
2.1	Materias primas	5
2.1.1	Materias primas básicas	5
2.1.2	Comportamiento y química básica de los materiales cerámicos	6
2.2	Descripción del proceso.....	7
2.2.1	Descripción de las etapas involucradas en la fabricación.....	7
2.2.2	Descripción de las etapas anexas al proceso de fabricación	9
2.2.2.1	Elaboración de los moldes de yeso	9
2.2.3.2	Elaboración del barniz.....	10
2.3	Principales equipos	11
2.4	Calidad de los productos asociada a la lixiviación de plomo.....	11
2.4.1	Lixiviación de plomo	11
2.4.2	Medidas de minimización de la lixiviación del plomo	12
2.4.2.1	Medidas a adoptar por el fabricante.....	12
2.4.2.2	Medidas a adoptar por el usuario de productos cerámicos	13
3	GENERACIÓN DE CONTAMINACIÓN	14
3.1	Emisiones atmosféricas	14
3.2	Residuos sólidos	17
3.3	Residuos líquidos	18
4	PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN.....	20
4.1	Medidas de minimización de residuos	20
4.2	Reducción de las emisiones atmosféricas	21
4.2.1	Reducción de las emisiones de combustibles	21
4.2.1.1	Conservación de la energía.....	21
4.2.1.2	Conservación de la energía en el proceso de secado	23
4.2.1.3	Conservación de la energía en la operación de cocción	23
4.2.2	Reducción de NOx.....	26
4.2.3	Reducción del material particulado.....	26
4.2.4	Reducción de la emisión de COVs	27
4.2.5	Reducción de las emisiones de HF	27
4.3.	Minimización de pérdidas de sanitarios durante la cocción.....	27
4.4	Reducción de la carga contaminante en los residuos líquidos	28
5	CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN.....	29
5.1	Control de residuos líquidos	29
5.1.1	Reducción de la carga de metales pesados	30
5.1.1.1	Precipitación.....	30
5.1.1.2	Coagulación.....	37
5.1.1.3	Floculación.....	37
5.1.1.4	Separación sólido líquido (remoción carga sólidos suspendidos).....	37
5.1.1.5	Ajuste de pH.....	39
5.1.1.6	Deshidratación de lodos.....	39
5.1.1.7	Disposición de lodos residuales	40
5.2	Métodos de control de emisiones de la atmósfera.....	40
5.2.1	Filtros de manga.....	41
5.2.1.1	Tipo de contaminante abatido	42
5.2.1.2	Eficiencias de reducción	42
5.2.1.3	Rangos de operación	42

5.2.1.4	Requisitos de pretratamiento de las emisiones.....	43
5.2.1.5	Ventajas	43
5.2.1.6	Desventajas	43
5.2.1.7	Aplicación en la cerámica	44
5.2.2	Venturi scrubber.....	44
5.2.2.1	Tipo de contaminante abatido.....	44
5.2.2.2	Eficiencias de reducción.....	44
5.2.2.3	Rangos de operación.....	45
5.2.2.4	Requisitos de pretratamiento de las emisiones.....	45
5.2.2.5	Ventajas.....	45
5.2.2.5	Desventajas.....	45
5.2.2.6	Aplicación en la industria de la cerámica.....	45
5.3	Manejo de residuos sólidos	46
6	PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS.....	47
6.1	Aplicabilidad de Plan de Manejo de Residuos Peligrosos.....	47
6.1.1	Concepto residuo peligroso.....	47
6.1.2	Procedimiento de determinación de residuos peligrosos.....	48
6.2	Aplicación al rubro.....	48
6.3	Componentes plan de manejo.....	50
7	ASPECTOS FINANCIEROS DEL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN.....	52
7.1	Contaminación hídrica.....	52
7.1.1	Indicadores de costo de tecnologías de remoción de metales pesados	52
7.1.1.1	Costo precipitación química en 4 estanques	52
7.1.1.2	Costo precipitación química en 1 estanque	53
7.1.1.3	Costo de reactivos empleados en la precipitación	55
7.1.2	Indicadores de costo de tecnologías de remoción de sólidos suspendidos.....	56
7.1.3	Indicadores de costo de tecnologías de deshidratación de lodos	56
7.2	Costos de la aplicación de métodos de control de emisiones de la atmósfera.....	57
7.2.1	Filtros de tela	57
7.2.2	Venturi scrubber.....	57
7.3	Instrumentos Financieros de Apoyo a la Gestión Ambiental	58
8	SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL	60
8.1	Productos químicos peligrosos y tóxicos	60
8.1.1	Metales pesados	60
8.1.2	Sílice	60
8.1.3	HF.....	60
8.1.4	Productos de la combustión y cocción	60
8.1.5	Otras fuentes de peligro a la salud.....	61
8.2	Protección de la salud.....	61
9	LEGISLACION Y REGULACIONES AMBIENTALES APLICABLES A LA INDUSTRIA	64
9.2	Normativas que Regulan las Emisiones Atmosféricas	65
9.3	Normativas que Regulan las Descargas Líquidas.....	68
9.4	Normativas Aplicables a los Residuos Sólidos	69
9.5	Normativas Aplicables a los Ruidos	70
9.6	Normativas de Seguridad y Salud Ocupacional.....	71
9.7	Normas Referenciales del Instituto Nacional de Normalización.....	74
9.7.1	Normas relativas al agua	75
9.7.2	Normativas de salud y seguridad ocupacional.....	75
10	PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCION DE PERMISOS	77
10.1	Certificado de Calificación Técnica.....	78
10.2	Informe Sanitario.....	78
10.3	Permisos Municipales.....	80
11	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
12	REFERENCIAS	82