

---

**COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE-REGION METROPOLITANA**

---

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

**MANEJO DE SOLVENTES**

**SANTIAGO  
JUNIO DE 1999**

## INDICE

Página

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ANTECEDENTES DE UTILIZACIÓN.....</b>	<b>3</b>
2.1	<b>LIMPIEZA EN FRÍO .....</b>	<b>3</b>
2.2	<b>DESGRASADO POR VAPOR.....</b>	<b>4</b>
2.3	<b>LIMPIEZA DE PRECISIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>GENERACIÓN DE RESIDUOS Y ASPECTOS AMBIENTALES .....</b>	<b>6</b>
3.1	<b>RESIDUOS SÓLIDOS.....</b>	<b>6</b>
3.2	<b>EMISIONES ATMOSFÉRICAS .....</b>	<b>7</b>
3.2.1	Limpieza de Metales .....	8
3.2.2	Lavado en Seco .....	8
3.2.3	Imprenta .....	9
3.3	<b>RUIDOS Y OLORES.....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS.....</b>	<b>11</b>
4.1	<b>MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS.....</b>	<b>11</b>
4.1.1	Reducción en el Origen.....	11
4.1.2	Reciclado .....	26
4.2	<b>IMPLEMENTACION DE SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL.....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>MÉTODOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN (END-OF-PIPE).....</b>	<b>34</b>
5.1	<b>RESIDUOS LÍQUIDOS.....</b>	<b>34</b>
5.1.1	Adsorción con Carbón .....	34
5.1.2	Arrastre con Vapor.....	34
5.1.3	Tratamiento Biológico .....	35
5.1.4	Oxidación con Aire Húmedo.....	37
5.2	<b>RESIDUOS SÓLIDOS.....</b>	<b>38</b>
5.2.1	Recuperación de Solventes .....	38
5.2.2	Incineración.....	42
5.2.3	Depósito de Seguridad .....	43
5.3	<b>EMISIONES ATMOSFÉRICAS .....</b>	<b>44</b>
5.3.1	Oxidación Térmica.....	45
5.3.2	Oxidación Catalítica.....	46
5.3.3	Absorción.....	46
5.3.4	Condensación.....	46
5.3.5	Adsorción.....	47

<b>6</b>	<b>ASPECTOS FINANCIEROS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN.....</b>	<b>48</b>
6.1	RECUPERACIÓN DE SOLVENTES <i>ON-SITE</i> .....	48
6.2	CONTROL DE EMISIONES DE COVS .....	49
6.3	INSTRUMENTOS FINANCIEROS DE APOYO A LA GESTIÓN AMBIENTAL .....	50
<b>7</b>	<b>SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL .....</b>	<b>52</b>
7.1	SOLVENTES ALTERNATIVOS .....	54
7.2	PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES.....	54
<b>8</b>	<b>LEGISLACION Y REGULACIONES AMBIENTALES APLICABLES A LA INDUSTRIA .....</b>	<b>56</b>
8.1	NORMATIVAS QUE REGULAN LA LOCALIZACIÓN DE LAS INDUSTRIAS.....	56
8.2	NORMATIVAS QUE REGULAN LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS .....	57
8.3	NORMATIVAS QUE REGULAN LAS DESCARGAS LÍQUIDAS.....	60
8.4	NORMATIVAS APLICABLES A LOS RESIDUOS SÓLIDOS.....	61
8.5	NORMATIVAS APLICABLES A LOS RUIDOS .....	62
8.6	NORMATIVAS DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL .....	62
8.7	NORMAS REFERENCIALES DEL INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN .....	66
8.7.1	Normas Relativas al Agua.....	66
8.7.2	Normativas de Salud y Seguridad Ocupacional .....	66
<b>9</b>	<b>PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCION DE PERMISOS.....</b>	<b>68</b>
9.1	CERTIFICADO DE CALIFICACIÓN TÉCNICA.....	69
9.2	INFORME SANITARIO .....	69
9.3	PERMISOS MUNICIPALES.....	71
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>11</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>74</b>

## **PRESENTACION**

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

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

Los rubros industriales prioritarios para la Región Metropolitana han sido seleccionados en base a criterios, tales como la representatividad dentro del sector manufacturero y los impactos ambientales que generan.

El presente documento entrega una reseña sobre los impactos ambientales provocados por el Manejo de Solventes. 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 Manejo de Solventes, ha sido elaborada por la Unidad de Residuos de CONAMA RM, en base a un estudio realizado por el Centro Nacional del Medio Ambiente–CENMA.

# 1 INTRODUCCIÓN

Este documento trata en particular aspectos relativos al uso de solventes por sus propiedades como tales y no como ingredientes o componentes en una formulación.

La distribución del uso de los diez solventes orgánicos más usados con respecto a seis grupos de industrias se muestra en la tabla a continuación (U.S. EPA, 1989a; EMEP/CORINAIR, 1996). La industria de pinturas usa principalmente solventes no halogenados, mientras que en la limpieza de superficies se usan principalmente solventes halogenados. Tetracloroetileno es el solvente principal usado por lavasecos.

Tabla 1.1: Distribución del uso de algunos solventes comunes

		Solvente									
		Xileno	Metanol	Tolueno	Tetracloroetileno	Cloruro de metileno	Metil etil cetona	Tricloroetileno	1,1,1-Tricloroetano	Acetona	Metil isobutil cetona
Sector industrial	Pinturas y similares	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Limpieza de metales				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Pesticidas	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	Farmacéutica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Lavasecos				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	Imprentas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	

Puede considerarse que el evitar la generación de residuos incluye modificar el proceso de tal forma que el residuo generado sea menos peligroso y/o de menor potencial para dañar el ambiente. Generalmente, los residuos generados por el uso de solventes son clasificados como peligrosos; luego en este caso, el evitar la generación de residuos puede comprender sustituir un solvente por otro, mediante lo cual se evita el uso de un solvente peligroso o de difícil manejo.

Evitar las pérdidas por emisiones fugitivas es un objetivo por sí deseable, aunque es improbable que signifiquen un impacto importante en la cantidad de residuo que requiere ser dispuesto. Sin embargo, resultará en una disminución de las necesidades de materias primas, y por ende, contribuirá a reducir la generación de residuos asociados con el proceso de manufactura.

La opción preferida para el manejo de residuos de solvente es con frecuencia su regeneración y recuperación mediante procesos tales como destilación, evaporación de película delgada y arrastre por vapor, no obstante, consideraciones de tipo más bien económico que técnico hacen a veces desistir de su uso. Esto conlleva a la utilización de estos residuos como combustible alternativo, otra alternativa de recuperación de los mismos (y preferible a su incineración). Sin embargo, tales usos requieren de una evaluación cuidadosa, y las características del residuo deben corresponder con la capacidad del proceso en el que se pretende realizar la combustión.

Los residuos de solvente que no son sometidos a un proceso de recuperación, sea esto por razones económicas o por falta de oportunidad técnica, deben no obstante ser dispuestos de manera adecuada. Aunque hay alternativas de tratamiento a la incineración, tales como la inyección profunda (*deep injection*), tratamiento biológico, tratamiento físico-químico, o disposición en relleno de seguridad, éstas no son igualmente adecuadas o satisfactorias en todas las circunstancias.

## 2 ANTECEDENTES DE UTILIZACIÓN

Los clorofluorocarbonos (CFCs), hidroclorofluorocarbonos (HCFCs), hidrofluorocarbonos (HFCs) y mezclas de estos son usadas como medio de transferencia de calor en el ciclo de refrigeración de sistemas de aire acondicionado, congeladores y refrigeradores. Algunos de los refrigerantes comúnmente usados son el CFC-12, HCFC-22, HCFC-123, HFC-134a, y CFC-500. Debido a que el refrigerante permanece en un sistema sellado durante todo el ciclo de refrigeración, no hay emisión del mismo sino hasta que la unidad sea desechada, aunque cantidades pequeñas puedan filtrarse del sistema o pueden haber emisiones durante operaciones de mantención y reparación (Higgins, 1995).

El CFC-11 es comúnmente usado como agente de soplado en la manufactura de espuma de poliuretano (usada como espuma aislante en refrigeradores y congeladores). Se ha informado que los CFCs que son atrapados en la espuma durante el proceso de manufactura se filtran muy lentamente, menos de un 2% anualmente (Higgins, 1995). Con respecto al uso de CFCs en general debe tenerse en consideración que las industrias están eliminando el uso de solventes que dañan la capa de ozono (de acuerdo a lo establecido en el *Protocolo de Montreal*<sup>1</sup>).

Los Halones son empleados como medios extintores de incendios debido a su capacidad de actuar como tales, de evaporarse sin dejar residuos, incapacidad de conducir electricidad y baja toxicidad. Sin embargo, dentro de los solventes estos compuestos tienen uno de los potenciales relativos de destrucción de ozono más alto (Higgins, 1995).

En operaciones de limpieza y desgrasado, se usan solventes orgánicos para la remoción de grasas, aceites y otras películas orgánicas de superficies de piezas elaboradas. Estas operaciones se realizan antes de la aplicación de recubrimientos de protección (tales como pinturas, barnices, esmalte o galvanizado), antes del ensamblado de las piezas, antes y después de operaciones metal mecánicas (tales como soldado o tratamiento térmico); y antes del empaque.

En la categoría de limpieza y desgrasado con solvente se reconocen tres operaciones distintas: limpieza en frío, desgrasado por vapor y limpieza de precisión (Higgins, 1995). Estas se detallan a continuación.

### 2.1 Limpieza en Frío

La limpieza en frío es la operación de limpieza con solvente más simple, barata y la más común. El solvente generalmente es empleado a temperatura ambiente o levemente superior a ésta. Es aplicado mediante cepillos o mediante la inmersión de los objetos en un baño de solvente. El solvente más comúnmente usado en la limpieza en frío es un aceite mineral altamente inflamable, conocido por su nombre comercial Varsol (o solvente *Stoddard*).

---

<sup>1</sup> Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. January 1989.

## 2.2 Desgrasado por Vapor

En el desgrasado por vapor se emplean hidrocarburos clorados no inflamables en forma de vapor para limpiar superficies principalmente metálicas. En comparación con la limpieza en frío, en el desgrasado por vapor se limpia más rápidamente debido al empleo de temperaturas más altas. Algunos de los solventes comúnmente usados en este tipo de aplicaciones son 1,1,1-tricloroetano, percloroetileno, tricloroetileno, Freón TF y cloruro de metileno.

En su forma más sencilla, en el desgrasador de ciclo de vapor simple, se emplea sólo vapor de solvente para desengrasar. En este tipo de desgrasador se emplea un estanque que contiene solvente hasta un décimo de su capacidad, y donde serpentines con vapor de agua calientan el solvente hasta su punto de ebullición, produciendo vapor saturado de solvente en la porción superior del estanque. Los objetos son insertados manual o automáticamente en la zona del vapor, condensándose éste sobre la superficie del objeto, disolviendo grasas y suciedad, y removiéndolas al gotear sobre el baño. La operación continúa hasta que la temperatura del objeto alcanza la temperatura del vapor, finalizando entonces la condensación.

El vapor de solvente que no condensa sobre los objetos, condensa sobre los serpentines de enfriamiento ubicados en la región superior del estanque y retorna al baño, evitándose así la evaporación del solvente hacia la atmósfera.

El desgrasador de ciclo de vapor simple no es muy eficiente cuando los objetos son pequeños o el calor específico del material es bajo, porque la temperatura del objeto se equilibra rápidamente con la del vapor, sin poder condensarse suficiente solvente para limpiar la superficie. Estos objetos pueden limpiarse eficientemente usando un desgrasador de ciclo vapor-rocío, que es equipado con una boquilla pulverizadora que dirige solvente desde la bandeja recolectora de condensado para lavar mecánicamente aceites y grasas depositados sobre la superficie del objeto y enfriarlo parcialmente, permitiendo una limpieza final con el vapor que condensa.

Los desgrasadores de ciclo vapor-líquido-líquido tienen tres compartimentos separados para el solvente tibio, solvente en ebullición y vapor. Estos tipos de desgrasadores son generalmente usados con objetos pequeños u objetos muy sucios. Los desgrasadores ultrasónicos tienen un transductor montado en la base del estanque que produce sonido en el rango de 20 a 40 [kHz]. Las ondas de sonido inducen vibraciones que provocan una rápida formación y colapso de burbujas de gas en el solvente líquido. Las burbujas colapsan durante la compresión, resultando en la producción de pequeñas ondas que irradian desde el punto de colapso; éstas remueven la tierra adherida a los objetos.

Para reducir las emisiones atmosféricas, los desgrasadores de vapor deben incorporar las siguientes características: (a) revancha adicional refrigerada desde el nivel normal más alto del vapor, (b) cubiertas deslizantes, y (c) destiladores integrados para la recuperación de solvente.

En los Estados Unidos, el tricloroetileno era el solvente comúnmente usado en desgrasadores de vapor. Después de reducirse su uso debido a problemas de seguridad y salud ocupacional fue substituido principalmente por 1,1,1-tricloroetano. No obstante, debido al problema de destrucción de la capa de ozono, este compuesto y los Freones están siendo reemplazados por hidroclofluorocarbonos e hidrofluorocarbonos. Las instalaciones que continúan usando dichos solventes deben mejorar sus sistemas de control de emisiones atmosféricas.

### **2.3 Limpieza de Precisión**

La limpieza de precisión de instrumentos y componentes electrónicos demanda el uso de solventes de elevada pureza, alto poder solubilizante, y de evaporación rápida. Esta consiste generalmente de la limpieza propiamente tal y de una etapa de verificación del grado de limpieza alcanzado. La etapa de limpieza puede incluir una o más de las siguientes operaciones: limpieza alcalina, desgrasado por vapor, y limpieza con solvente líquido. La verificación del grado de limpieza obtenido se realiza lavando el artículo con solvente en una sala limpia o en un sistema cerrado para minimizar su contaminación. El solvente usado en el último enjuague es recolectado y analizado para determinar su grado de contaminación mediante filtración, conteo y clasificación por microscopio de las partículas retenidas sobre el material filtrante. Además, el solvente es analizado para determinar los residuos no volátiles, generalmente aceites. Luego de la limpieza, el artículo es colocado en bolsas dobles de polietileno o similares, y selladas.

El Freón TF (CFC-113) y el alcohol isopropílico son los dos solventes más usados en el último enjuague, siendo la selección de solvente restringida por las características de inflamabilidad, compatibilidad del material, y uso final del producto.

### 3 GENERACIÓN DE RESIDUOS Y ASPECTOS AMBIENTALES

#### 3.1 Residuos Sólidos

La generación de residuos de solvente en la Región Metropolitana fue estimada en 485 [t/año] en 1995 por el Estudio del Plan Maestro sobre Manejo de Residuos Sólidos Industriales en la Región Metropolitana (Kokusai Kogyo, 1996). En el mismo estudio, se proyecta para el presente año una cifra algo superior a 511 [t/año] de estos residuos, como se puede ver en la tabla a continuación<sup>2</sup>.

Tabla 3.1: Generación de residuos de solvente en la Región Metropolitana (Kokusai Kogyo, 1996)

Año	1995	1997	2000	2005	2010
Residuos [t/año]	485	511	550	615	679

Los residuos de solvente eran en 1995 principalmente descargados a cursos de agua superficiales y a sistemas de alcantarillado, o reutilizados por terceros; en la tabla siguiente se muestra la distribución porcentual de los métodos de disposición entonces empleados por los generadores de residuos de solvente (Kokusai Kogyo, 1996).

Tabla 3.2: Disposición de residuos de solvente en la Región Metropolitana (Kokusai Kogyo, 1996)

Método de disposición	Porcentaje
Transporte y disposición final en relleno sanitario municipal por medio de terceros	0,1%
Almacenamiento prolongado en el recinto de la empresa esperando tratamiento/disposición externa	0,5%
Descarga a cursos de agua o sistema de alcantarillado	22,9%
Disposición mediante terceros (tratamiento y disposición desconocidos)	3,6%
Reutilización por terceros (por ejemplo, uso como materia prima en otra empresa)	37,0%
Otros (no especificado por el industrial)	35,9%

---

<sup>2</sup> Considerando que las actividades de recuperación de solventes (sea esto para su uso como solvente o combustible alternativo) están comprendidas dentro del método de disposición más adelante identificado como reutilización por terceros, entonces se puede estimar que la cantidad de solvente sucio manejado por empresas dedicadas a la recuperación de los mismos debe ser  $(0,37 \times 550)$  203,5 [t/año] o menos. Sin embargo, de acuerdo a la información entregada por los Srs. Patricio Soza (Química Ecopar Ltda.), Agustín Salamero (Sociedad Comercial e Industrial Sercoin SCI Ltda.) y Francisco Ehrmann (Society Recycling Instruments Ltda.), sólo estas tres empresas manejan cerca de 266 [t/mes], luego es evidente que la estimación de Kokusai Kogyo (1996) para la Región Metropolitana no es representativa de la realidad.

Los residuos de solvente actualmente recepcionados en las empresas recuperadoras para su procesamiento provienen principalmente de la industria de pintura y productos afines.

Para identificar compuestos que podrían potencialmente lixiviar desde la matriz sólida o semi-sólida del residuo, se realiza la determinación de la característica de toxicidad por lixiviación. En el estudio de caracterización de residuos industriales sólidos en la Región Metropolitana realizado por el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA, 1998), el único metal tóxico medido en concentraciones importantes, en la determinación de la característica de toxicidad por lixiviación de borras de destilación resultantes de la recuperación de solvente usado en la industria de pintura, fue el plomo. Los resultados correspondientes se muestran en la Tabla 3.3 a continuación. Todas las muestras analizadas presentaron un punto de inflamación inferior a 60°C<sup>3</sup>.

Tabla 3.3: Análisis de TCLP a residuos de destilación (CENMA, 1998)

Parámetro	Concentración		
	Borras de destilación de solvente usado en industria de pintura	Borras de destilación de solvente usado	Borras de solvente usado
Arsénico [mg/l]	0,004–0,024	0,007–0,008	0,003
Bario [mg/l]	<0,1–1,18	<0,36–4,14	<0,36
Cadmio [mg/l]	<0,4	<0,4	<0,4
Cromo [mg/l]	<0,07–0,24	<0,4–0,14	0,19
Mercurio [mg/l]	<0,001	<0,001	<0,001
Plata [mg/l]	<0,5	<0,5	<0,5
Plomo [mg/l]	<0,03–18,05	<0,03–0,60	<0,03
Selenio [mg/l]	<0,001	<0,001	<0,001

### 3.2 Emisiones Atmosféricas

En el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana (CONAMA, 1997) se indica que las emisiones anuales totales de COVs por concepto de emisiones evaporativas (en lavasecos, talleres de pintado de autos y uso de pinturas en casas y edificios) son 14.076 [ton/año], es decir, las emisiones debido al uso de solventes puede estimarse en al menos 22,6% del total estimado para la Región Metropolitana (incluyendo fuentes fijas, otras fuentes y fuentes móviles).

En un estudio realizado por *Statistics Norway*, incorporado en el inventario de emisiones atmosféricas de la *European Environment Agency* (EMEP/CORINAIR, 1996), se estimaron

<sup>3</sup> De acuerdo al Proyecto de Reglamento de Manejo Sanitario de Residuos Peligrosos elaborado por el Ministerio de Salud (1998), todas las muestras son peligrosas por presentar la característica de inflamabilidad. Además una muestra es peligrosa por presentar la característica de toxicidad por lixiviación para el plomo.

las emisiones de compuestos orgánicos volátiles distintos de metano (COVNM) debido al uso de solventes en distintos rubros; al respecto, algunos resultados de interés se presentan a continuación.

### 3.2.1 Limpieza de Metales

Las técnicas básicas de limpieza con solventes orgánicos para la remoción de sólidos insolubles en agua, tales como grasas, aceites y ceras, desde superficies de metal, plástico, fibra de vidrio y tableros de circuito impreso, son: limpieza abierta (*open top*) a vapor, limpieza en línea (en frío y a vapor) y limpieza en frío (por lotes). Los solventes más usados en operaciones de limpieza a vapor corresponden a cloruro de metileno, percloroetileno, tricloroetileno, 1,1,1-tricloroetano y triclorotrifluoroetano; en operaciones de limpieza en frío por lotes, los solventes más usados son alcoholes en general y solventes *Stoddard*. (EMEP/CORINAIR, 1996)

Tabla 3.4: Factores de emisión para procesos de limpieza de metales (EMEP/CORINAIR, 1996)

Técnica	Factor de emisión (sin control)
Uso de solvente	1.000 [kg COVNM/t Solvente]
Limpieza en frío	0,30 [t COVNM/año] <sup>(1)</sup> 0,4 [kg/h/m <sup>2</sup> ] <sup>(2)</sup>
Residuos de solvente	0,165 [t COVNM/año] <sup>(1)</sup>
Pérdida por <i>drag out</i>	0,075 [t COVNM/año] <sup>(1)</sup>
Evaporación de los baños y atomizadores	0,06 [t COVNM/año] <sup>(1)</sup>
Limpieza abierta a vapor	9,5 [t/año] <sup>(1)</sup> 0,7 [kg/h/m <sup>2</sup> ] <sup>(3)</sup>
Limpieza en línea a vapor	24 [t/año] <sup>(1)</sup>

(1) Por cada equipo en operación

(2) Por superficie y ciclo de operación; limpieza con tricloroetano

(3) Por superficie y ciclo de operación; limpieza con tricloroetano; no incluye residuos de solvente

### 3.2.2 Lavado en Seco

El lavado en seco puede definirse como el uso de solventes orgánicos clorados, principalmente tetracloroetileno, para limpiar pieles, cueros y textiles. Otros solventes usados son el tricloroetileno, 1,1,1-tricloroetano y cloruro de metileno (EMEP/CORINAIR, 1996). Los tipos de equipos usados son dos, de circuito abierto donde las emisiones por evaporación de solvente en la etapa de secado final de la ropa (desodorización) se descargan directamente a la atmósfera, y de circuito cerrado equipadas con condensadores refrigerados y sin respiradero.

Tabla 3.5: Factores de emisión para sistemas de lavado en seco (EMEP/CORINAIR, 1996)

Equipo	Factor de emisión
Máquina de circuito abierto	0,8 [kg COVNM/kg Solvente] 125 [g COVNM/kg Ropa]
Para solventes halogenados	55 [g COVNM/kg Ropa]
Para solventes hidrocarburoados	5 [g COVNM/kg Ropa]
Máquina de circuito cerrado	0,4 [kg COVNM/kg Solvente]
Para solventes halogenados	30 [g COVNM/kg Ropa]

### 3.2.3 Imprenta

Las clases de solvente de uso común en las imprentas corresponden a parafinas, compuestos aromáticos, alcoholes, ésteres, cetonas y éteres. Algunos de los compuestos individuales que han sido identificados son ciclohexano, tolueno, xileno, etilbenceno, dietilbenceno, metanol, etanol, isopropanol, isobutanol, ciclohexanol, etil acetato, metil etil cetona y metil isobutil cetona (EMEP/CORINAIR, 1996). No obstante, se ha informado que los solventes específicos usados en los distintos procesos de impresión (*offset*, rotograbado, flexografía, serigrafía y tipografía) son fuertemente dependientes del país o región.

Tabla 3.6: Factores de emisión para procesos impresión (EMEP/CORINAIR, 1996)

Sector	Técnica	Factor de emisión [kg COVNM/t Tinta Consumida]
Prensa <sup>(1)</sup>	Cold-set web offset	54
Editorial <sup>(2)</sup>	Heat-set web offset	182
	Rotograbado	425
Envases flexibles <sup>(3)</sup>	Sheet-fed offset	437
	Rotograbado	1.296
	Flexografía	800
Envases metálicos rígidos <sup>(4)</sup>	Sheet-fed offset	437
	Rotograbado	1.296
	Flexografía	800
Decoración <sup>(5)</sup>	Rotograbado	1.296
	Flexografía	800
	Serigrafía	935

(1) Impresión de periódicos

(2) Impresión de libros, revistas, catálogos, avisos publicitarios

(3) Impresión de productos para envasar, por ejemplo, cartón, papel, plástico flexible

(4) Impresión de productos para envasar, por ejemplo, latas de alimentos

(5) Elaboración de recubrimientos de paredes y suelos, en papel y plástico

### **3.3 Ruidos y Olores**

Los ruidos y olores no son fuente de impacto ambiental significativo en las actividades asociadas al manejo de solventes.

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

### **4.1 Minimización de Residuos**

#### **4.1.1 Reducción en el Origen**

La reducción en el origen se define como cualquier actividad realizada dentro del establecimiento que reduce el volumen y/o el peligro del residuo generado en dicho establecimiento. La reducción en el origen representa un acercamiento preventivo al manejo de residuos peligrosos, ya que la reducción del volumen o peligrosidad del residuo disminuye los problemas asociados con su posterior manejo, tratamiento y disposición.

##### **4.1.1.1 Sustitución de materias primas**

La sustitución de materias primas consiste en el reemplazo de una materia prima, catalizador, u otro material involucrado en el proceso de producción, por otro. El sustituto es menos peligroso o su uso resulta en menor generación de residuos peligrosos, aunque cumpliendo con una función similar en el proceso de producción y satisfaciendo las especificaciones del producto final. Sin embargo, las experiencias descritas en la bibliografía consultada indican que alguna alteración en los equipos de proceso es con frecuencia necesaria.

Todos los solventes clorados son peligrosos para la salud humana y el medio ambiente (DTSC, 1994), siendo algunos de ellos considerados cancerígenos y encontrándose fuertemente regulados en los países desarrollados. Por ejemplo, el CFC-113 y el 1,1,1-tricloroetano se encuentran prohibidos en Estados Unidos desde el año 1995. En consideración, han aparecido alternativas tales como productos en base a hidrocarburos, semi-acuosos y acuosos, e incluso la aparición de tecnologías "no-clean". Estas últimas eliminan la etapa de limpieza en el proceso de manufactura. Sin embargo esta técnicas son relativamente nuevas y sus efectos al largo plazo aún son desconocidos, por lo cual la mayoría de los productores tienden a evitarlas.

El reemplazar procesos por limpiadores y procesos de tipo acuoso o semi-acuoso generalmente requiere del empleo de equipos adicionales, múltiples etapas de limpieza, enjuague y secado dependiendo del nivel de limpieza necesario. Las especificaciones de limpieza entregadas por el cliente pueden limitar la disponibilidad de alternativas o en definitiva imponer la configuración final del proceso de limpieza. El proceso a continuación de la etapa de limpieza (galvanizado, tratamiento térmico, anodizado u otro) también determina el "nivel de limpieza" deseado.

Hay muchas variables que deben ser consideradas cuando se selecciona el mejor proceso de limpieza para una aplicación determinada: (a) los contaminantes a ser removidos (identificar y entender sus características), (b) el sustrato a ser limpiado (el tamaño y la

forma de la parte son determinantes de la química y del método de limpieza), (c) la seguridad a los operarios, (d) las posibilidades de reciclaje y disposición final de los limpiadores usados (tratabilidad), y (e) el proceso a continuación de la etapa de limpieza (es importante determinar el nivel mínimo de limpieza requerido para mantener la eficiencia el proceso).

Los limpiadores acuosos y semi-acuosos se pueden clasificar en varias categorías. Los proveedores clasifican a sus productos en biodegradables, seguros, no-peligrosos y otros calificativos subjetivos, debiendo el industrial determinar la validez de estas afirmaciones. Por ejemplo, la biodegradabilidad de algunos limpiadores puede variar desde pocos cientos hasta cientos de miles partes por millón de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (Carter, 1998), y los proveedores pueden entregar esta información. El reemplazar un problema por otro puede no ser la solución requerida.

Hay muchas formulaciones disponibles en el comercio. La concentración relativa de cada componente en un limpiador, determinará que problema (inflamabilidad, tratabilidad, efectos en la salud u otro), o combinación de ellos, deben ser contemplados en el diseño del sistema de limpieza. Los sistemas de ciclo cerrado han sido diseñados para resolver problemas tales como inflamabilidad, tratabilidad y emisión de compuestos orgánicos volátiles, asociados con algunos limpiadores. Como regla general, si se emplean dos tambores de solventes clorados por mes, puede ser económicamente factible considerar el uso de sistemas cerrados con terpenos, alcoholes o mezclas (Carter, 1998).

Hay varios proveedores que ofrecen solventes con puntos de inflamación bajo 60 °C<sup>4</sup> correspondiente al límite que define que un residuo pueda ser clasificado como peligroso por su característica de inflamabilidad. Estos solventes (naftas alifáticas livianas o destilados livianos de petróleo hidrotratados, que han sido procesados o mezclados para tener un punto de inflamación superior a 60 °C) generalmente tienen velocidades de evaporación menores y menos olor, y pueden tardar más en secarse que los solventes convencionales (DEHNR, 1995).

Los solventes con puntos de inflamación más altos generalmente son más costosos que el aguarrás mineral o Varsol, pero ofrecen la ventaja de ser no-peligrosos (a menos que se contaminen y se conviertan en peligrosos). Esta condición de no-peligroso es de particular importancia desde la perspectiva de la responsabilidad del generador de un residuo peligroso que se extiende desde la generación hasta su adecuada disposición. Además, aunque el costo de disposición final de un solvente no-peligroso probablemente sea similar al costo de disposición de un solvente peligroso, un solvente sucio no-peligroso reducirá los requerimientos de manejo de residuos peligrosos y la responsabilidad del industrial.

---

<sup>4</sup> Determinado según el método de copa cerrada Pensky-Martens o el método de copa cerrada Seta-flash.

### A. *Limpiadores semi-acuosos*

Los terpenos son compuestos químicos extraídos desde plantas tales como la corteza de los árboles o cáscaras de frutas cítricas.  $\alpha$ -Limoneno,  $\alpha$ - y  $\beta$ -pineno son algunos de los terpenos usados con mayor frecuencia en limpiadores semi-acuosos. Aunque se comportan como solventes excelentes, hay factores, incluyendo la seguridad, que deben ser considerados (Carter, 1998), por ejemplo: (a) en general no pueden ser atomizados en un estanque abierto, porque el vapor tiene un punto de inflamación bajo, generalmente limitando el calentamiento de líquidos a menos de 38 °C, (b) los terpenos no son fácilmente reciclados como lo son los limpiadores acuosos, (c) la biodegradabilidad necesita ser revisada y verificada, (d) la mantención del balance químico entre limpiadores y aditivos puede ser un problema acentuado por las pérdidas evaporativas, y (e) para algunas aplicaciones, se requiere un sistema de enjuague a base de alcoholes.

### B. *Hidrocarburos*

Los hidrocarburos, generalmente en combinación con un surfactante e inhibidor de oxidación, son efectivos para remover contaminantes tales como aceites lubricantes, refrigerantes, grasas y ceras. Estos compuestos pueden ser reciclados eficientemente. Las alternativas de disposición generalmente involucran la incineración. La mayoría tienen puntos de inflamación bajos que deben ser considerados al seleccionar el equipamiento.

Metil etil cetona o cloruro de metileno han sido reemplazados en aplicaciones especiales de limpieza por combinaciones de *n*-metil pirrolidona, esteres dibásicos y otros compuestos menos peligrosos disponibles en el comercio (Carter, 1998).

### C. *Limpiadores acuosos*

En general los agentes de limpieza acuosos son más eficientes para limpiar contaminantes de tipo inorgánico, tales como óxidos, sales, polvos y compuestos de pulido. En la tabla a continuación se muestra la efectividad de distintos tipos de limpiadores acuosos, de acuerdo a la naturaleza química de los contaminantes.

Tabla 4.1: Limpiadores acuosos y naturaleza química de los contaminantes (DTSC, 1994)

Limpiador	Naturaleza química del contaminante				
	Orgánica	Inorgánica	Iónica	Polar	No-polar
Sólo agua	Pobre	<b>Excelente</b>	<b>Excelente</b>	Aceptable	Pobre
Agua/alcohol	Aceptable	<b>Excelente</b>	<b>Excelente</b>	Aceptable	Aceptable
Acido	Pobre	<b>Excelente</b>	<b>Excelente</b>	Aceptable	Pobre
Alcalino	Pobre	<b>Excelente</b>	<b>Excelente</b>	Aceptable	Pobre
Emulsión	<b>Excelente</b>	<b>Buena</b>	<b>Buena</b>	<b>Buena</b>	<b>Excelente</b>
Saponificante	<b>Excelente</b>	<b>Buena</b>	<b>Buena</b>	<b>Buena</b>	<b>Excelente</b>

A diferencia de la limpieza realizada con solventes, donde a continuación de ésta se realiza directamente el secado, el empleo de limpiadores acuosos generalmente requiere de una etapa de enjuague para remover compuestos residuales. El agua corriente puede ser suficiente, dependiendo del grado de limpieza necesario, siendo a veces necesario el uso de aditivos (tales como inhibidores de corrosión).

Aunque el agua es efectiva en la limpieza y enjuague, pueden haber problemas importantes si se permite el secado natural de la pieza. Por ejemplo, si la solución penetra entre dos superficies muy próximas entre sí, puede causar corrosión y conducir a la formación de óxidos. En la mayoría de los casos es necesario acelerar el proceso de secado, con tales propósitos se pueden emplear hornos de convección, nitrógeno caliente, lámparas infrarrojas o secadoras a vacío, entre otros.

Los procesos de limpieza acuosos pueden resultar en la necesidad de descargar éteres de glicol, fosfatos, altas concentraciones de silicatos y surfactantes que no son fácilmente biodegradables. Soluciones de limpieza ya usadas pueden tener un pH fuera del rango aceptable para su descarga a sistemas de alcantarillado y pueden tener contaminantes tales como aceites, grasas, metales en suspensión y disueltos, y compuestos orgánicos potencialmente dañinos. El principal residuo líquido derivado del uso de limpiadores en emulsión resulta cuando la solución de limpieza ya no es reciclable, debido a que tiene un pH inaceptable o ha perdido su poder de limpieza.

El cuadro presentado a continuación presenta una serie de solventes acuosos y semi-acuosos, cuyo empleo es preferible al uso de solventes halogenados desde la perspectiva ambiental. Estos compuestos son clasificados de acuerdo a su toxicidad y persistencia en el medio ambiente. El nivel de toxicidad indica el grado potencial de provocar daños en organismos acuáticos, tales como peces y algas, al ser descargado el compuesto en aguas superficiales. El nivel de persistencia indica cuanto tiempo el compuesto permanece en el agua antes de degradarse a componentes estables. En general, es menos probable que los compuestos que se degradan a compuestos estables causen problemas ambientales.

Tabla 4.2: Compuestos químicos acuosos y semi-acuosos preferibles ambientalmente (U.S. EPA, 1996)

Nombre	C.A.S. <sup>5</sup>	Toxicidad ecológica <sup>(1)</sup>	Persistencia ambiental <sup>(2,3)</sup>
<b>Acidos</b>			
Acido cítrico	77-92-9	Moderada	<b>Baja</b>
Etilendiaminotetracetato de sodio <sup>(4)</sup>	7379-28-4	Moderada	Moderada
Acido etilendiaminotetracético (EDTA)	60-00-4	Moderada	Moderada
Acido fórmico	64-18-6	<b>Baja</b>	<b>Baja</b>

<sup>5</sup> Número de registro en el *Chemical Abstracts Service*.

Nombre	C.A.S. <sup>5</sup>	Toxicidad ecológica <sup>(1)</sup>	Persistencia ambiental <sup>(2,3)</sup>
Acido glucosamonocarboxílico	23351-51-1	<b>Baja</b>	<b>Baja</b>
Gluconato de sodio	527-07-1	<b>Baja</b>	<b>Baja</b>
Acido glucónico	526-95-4	<b>Baja</b>	<b>Baja</b>
Acido clorhídrico	7647-01-0	<b>Baja</b>	–
Acido fosfórico	7664-38-2	Alta	–
Acido sulfúrico	7664-93-9	<b>Baja</b>	–
<b>Alcalis</b>			
Monoetalonamina	141-43-5	Moderada	<b>Baja</b>
Hidróxido de potasio	1310-58-3	<b>Baja</b>	–
Tripolifosfato de sodio <sup>(5)</sup>	7758-29-4	Alta	–
Hidróxido de sodio	1310-73-2	<b>Baja</b>	–
Carbonato de sodio	497-19-8	<b>Baja</b>	–
Sulfato de sodio	7757-82-6	<b>Baja</b>	–
Metasilicato de sodio	6834-92-0	Moderado	–
Pirofosfato de potasio <sup>(5)</sup>	7320-34-5	Alta	–
Pirofosfato de sodio <sup>(5)</sup>	7722-88-5	Alta	–
Trietanolamina	102-71-6	<b>Baja</b>	<b>Baja</b>
Fosfato de sodio <sup>(5)</sup>	7601-54-9	Alta	–
<b>Surfactantes</b>			
Nonilfenol etoxilato <sup>(6)</sup>	9016-45-9	Moderada	Baja-Moderada
Acido dimetilbencenosulfónico, sal de sodio	1300-72-7	<b>Baja</b>	Baja-Moderada
<b>Solventes-hidrocarburos</b>			
Dipenteno	68956-56-9	Alta	<b>Baja</b>
Hexano	110-54-3	Alta	<b>Baja</b>
d-Limoneno	5989-27-5	Alta	<b>Baja</b>
1- $\alpha$ -Pinoeno	7785-26-4	Alta	<b>Baja</b>
d- $\alpha$ -pinoeno	7785-70-8	Alta	<b>Baja</b>
$\beta$ -pinoeno	127-91-3	Alta	<b>Baja</b>
<b>Solventes-no-hidrocarburos</b>			
2-Butoxi-etanol	111-76-2	<b>Baja</b>	<b>Baja</b>
2-[2-Butoxi-etoxi]-etanol	112-34-5	<b>Baja</b>	<b>Baja</b>
Etanol	64-17-5	<b>Baja</b>	<b>Baja</b>

Nombre	C.A.S. <sup>5</sup>	Toxicidad ecológica <sup>(1)</sup>	Persistencia ambiental <sup>(2,3)</sup>
Metanol	67-56-1	<b>Baja</b>	<b>Baja</b>
n-Metil-pirrolidona	872-50-4	Moderada	<b>Baja</b>
1-Nonanol	143-08-8	Moderada	<b>Baja</b>

(1) Los organismos son expuestos a diversas concentraciones del compuesto en agua durante un periodo de 2 a 4 días. La clasificación se determina por la concentración del compuesto a la cual muere un 50% de los organismos acuáticos:

**Alta:** 50% de los organismos mueren a una concentración de 1 [mg/l] o menos del compuesto

**Moderada:** 50% de los organismos mueren a una concentración superior a 1 [mg/l] del compuesto, pero inferior a 100 [mg/l]

**Baja:** 50% de los organismos mueren a una concentración superior a 100 [mg/l] del compuesto

(2) La clasificación se determina por el tiempo requerido por el compuesto para degradarse totalmente a compuestos estables cuando es descargado al medio ambiente:

**Alta:** más de seis meses para degradación completa

**Moderada:** degradación completa en menos de seis meses pero más de un mes

**Baja:** degradación completa en menos de un mes

(3) Se indica sólo la persistencia ambiental de compuestos orgánicos.

(4) En agua moderadamente dura (120-150 [mg CaCO<sub>3</sub>/l]) la toxicidad es mitigada cerca de 30 veces por los iones de calcio y magnesio.

(5) Los fosfatos inorgánicos tienen un elevado potencial para aumentar el crecimiento de algas verdes, cuya muerte eventual reducirá la cantidad de oxígeno disponible para la vida acuática.

(6) La toxicidad ecológica y persistencia de este compuesto químico son moderada y baja-moderada; sin embargo, los productos de su degradación en el ambiente presentan una toxicidad alta y una persistencia alta-moderada.

Al utilizar la información anterior debe tenerse presente lo siguiente: (a) la toxicidad es generalmente más importante que la persistencia, (b) el porcentaje de cada compuesto químico en una formulación debe ser considerado al seleccionar alternativas, (por ejemplo, un limpiador que contiene un pequeño porcentaje de un compuesto químico con elevada toxicidad puede ser menos dañino para el medio ambiente que un limpiador que contiene un elevado porcentaje de un compuesto moderadamente tóxico), y (c) la clasificación anterior se basa en las propiedades del compuesto específico y no considera los efectos potenciales de mezclar más de un compuesto en una formulación.

#### 4.1.1.2 Reformulación del producto

Otro método que es empleado para reducir el volumen o toxicidad de los residuos producidos por un establecimiento es el cambiar el producto en algún aspecto. Esto puede involucrar el alterar ciertas especificaciones del producto (por ejemplo, pureza), cambiar la composición química, o cambiar su estado físico. Un ejemplo de la reformulación de productos es el cambiar la composición de pinturas aumentando su contenido de sólidos, lo que resulta en una disminución correspondiente en el contenido de solvente de los enjuagues y en los productos fuera de especificación. (U.S. EPA, 1986)

### **4.1.1.3 Rediseño del proceso o modificación de equipos**

El rediseño del proceso incluye el modificar el diseño existente de proceso para incluir nuevas operaciones unitarias, la implementación de nuevas tecnologías para reemplazar operaciones más antiguas, cambiar las condiciones de operación del proceso, o cambiar las operaciones que afectan el proceso (por ejemplo, aseo o mantenimiento). Rediseñar es con frecuencia necesario cuando se requiere cumplir con estándares ambientales cada vez estrictos.

La modificación de equipos o su modernización parece ser un método que prevalece para lograr la reducción en el origen, no obstante los elevados costos iniciales involucrados. Un equipamiento nuevo puede permitir eliminar el uso de un material peligroso al desarrollar mecánicamente una operación equivalente a un proceso químico. Un ejemplo de esto puede ser el reemplazar un sistema de limpieza de superficies con solvente por un sistema de limpieza mecánico. Un equipo nuevo puede tal vez permitir el reemplazo de un material peligroso por uno menos peligroso; por ejemplo, el uso de sistemas de limpieza en base a álcalis a elevada presión puede reemplazar la limpieza con solvente de equipos en la industria elaboradora de pinturas (U.S. EPA, 1986). También, las emisiones de compuestos orgánicos volátiles desde estanques de almacenamiento puede reducirse en tanto como un 98% mediante reemplazo de techos fijos por techos flotantes, aunque el porcentaje de reducción exacto depende de factores tales como la velocidad de evaporación, temperatura ambiente, capacidad del estanque y velocidad con que se llena el estanque (U.S. EPA, 1995).

El mejorar los controles de proceso se considera un aspecto de particular importancia de la modificación de equipos. Los controles de proceso pueden ser menos costosos y técnicamente más factibles de implementar que el reemplazar o modificar un equipo a gran escala. Ejemplos de esto pueden incluir el uso de controles computarizados para las operaciones de formulación de pintura y teñido en la industria textil, para disminuir la generación de residuos (U.S. EPA, 1986).

El mejorar las prácticas de aseo es comúnmente empleado para lograr reducciones en el origen. Estas prácticas incluyen minimizar la limpieza y mantención de equipos, apagar los equipos auxiliares cuando no están en uso y cerrar válvulas, entre otras medidas. Otra manera en la que cambios en el proceso pueden tener el efecto de reducir en el origen es mediante un aumento en la atención por parte de la gerencia al control de la contaminación y a la generación de residuos. Por ejemplo, algunas empresas ofrecen a sus empleados programas de incentivos para identificar medidas para la disminución de costos, algunas de las cuales involucran el disminuir la generación de residuos de solvente.

En el caso particular de operaciones de limpieza y desgrasado, muchas de las antiguas unidades desgrasadoras de vapor pueden ser mejoradas si se incorporan nuevas características diseñadas para reducir las emisiones y minimizar el uso de solventes. Algunas de éstas se describen a continuación (Higgins, 1995):

- (a) **Instalación o incorporación de mejoras a la cubierta.** El método más simple, sin embargo el más importante, para reducir las emisiones atmosféricas en los desgrasadores abiertos, es el uso de una cubierta, especialmente durante los momentos en que el desgrasador se encuentre fuera de operación. Se ha informado de reducciones en las pérdidas de solvente en el rango de 30% y 50%, luego de haber sido instalada una cubierta adecuada. En particular son útiles las cubiertas deslizantes, porque a diferencia de las cubiertas con bisagra, no causan turbulencia cuando se abren o cierran.
- (b) **Aumento de revancha desde el nivel normal más alto del vapor.** A medida que la proporción entre la revancha y el ancho del estanque (en adelante, razón de revancha) aumenta, la pérdida de solvente disminuye. Hay referencias que recomiendan una razón de revancha mínima de 0,75 a 1; de hecho muchos diseños recientes tienen una razón de revancha próxima a 1,5.
- (c) **Instalación de sistema de refrigeración.** Los vapores de solvente se mantienen en el nivel deseado al interior del desgrasador al controlar el flujo de refrigerante circulando en los serpentines de condensación primarios o en la chaqueta del estanque. Para mejorar la contención de vapores, serpentines adicionales son usualmente colocados en el estanque a la altura del nivel de vapor para controlar el límite superior de la zona de vapor. Para este efecto se emplea agua de enfriamiento o un refrigerante enfriado mecánicamente como medio de enfriamiento al interior de los serpentines.
- (d) **Incorporación de sistema de revancha con sistema de refrigeración.** Los serpentines de refrigeración impiden la difusión de los vapores de solvente hacia la atmósfera (distintos de los condensadores primarios usados para producir la nube de vapor), operando generalmente entre 0 y  $-20^{\circ}\text{C}$ . Las empresas manufactureras de estos sistemas afirman que su incorporación a unidades existentes logra reducir las pérdidas de solvente entre 20 y 40%.
- (e) **Instalación de destiladores para recuperación.** Los destiladores para recuperar solventes deben ser usados cuando sea factible, luego de comparar un sistema de destilación centralizado y la integración de destiladores en cada desgrasador.
- (f) **Instalación de interruptores de seguridad.** Los interruptores de seguridad son instrumentos usados para reducir el uso de solvente y sus emisiones durante periodos de mal funcionamiento, no afectando las operaciones normales. Hay interruptores que detienen el calentamiento del baño de solvente durante desperfectos y otros que detienen el pulverizado de solvente.
- (g) **Incorporación de tecle automatizado.** La instalación de un tecle con velocidad controlada puede reducir las pérdidas de solvente debido a la introducción o retiro demasiado rápido de las piezas desde el estanque. La velocidad vertical de inmersión o retiro de los objetos debe ser limitada a menos de 3,3 [m/min] (Higgins, 1995). En todo caso, se debe favorecer el prolongar el periodo durante el cual se retira la pieza sobre el

tiempo que se permita que esta escurra sobre el baño (recomendándose para un ciclo fijo, que durante dos tercios de él se retire la pieza, y que el tercio restante sea para su escurrimiento). En un sistema de operación manual, la instalación y uso de barras para escurrimiento, como también el empleo de un chorro corto de aire comprimido para remover el líquido atrapado, reducen las pérdidas de solvente al retirar las piezas de un estanque (Callahan, 1995).

- (h) **Instalación de un sistema de recuperación de vapor.** Se consideran disponibles tres tecnologías para capturar y reusar los vapores de solvente desprendidos durante la operación de desengrase: (1) adsorción por carbón con regeneración de vapor de agua, condensación de vapor de agua, y separación de solvente y agua, (2) ciclo inverso de Brayton, y (3) condensación y refrigeración, seguido de separación de solvente y agua.
- (i) **Uso de solventes alternativos para la limpieza.** Desgrasadores de vapor existentes pueden ser modificados para usar HCFCs o agentes de limpieza acuosa. Las modificaciones requeridas para que un equipo operado con solvente clorado (por ejemplo, 1,1,1-tricloroetano) pueda ser convertido en uno que operará con HCFCs, son relativamente menores. Las modificaciones requeridas para la conversión de un desgrasador de vapor a un sistema de limpieza acuosa pueden ser complicadas y costosas, dependiendo la inversión del tamaño, forma y tipo de objetos siendo procesados, como también del sistema de limpieza acuosa seleccionada.

La cantidad de solvente usado en operaciones de limpieza en frío también puede ser eficazmente reducida al emplear un proceso de dos etapas en contracorriente. El proceso comprende el mojado de la pieza en un estanque con solvente sucio seguido por un enjuague y lavado final en un estanque de solvente limpio. El solvente sucio es usado para remover el grueso de la contaminación, mientras que el solvente limpio es usado para asegurar que la pieza está limpia. Cuando el solvente limpio se contamina demasiado con grasa y suciedad en general, el solvente sucio es descargado para disposición final o tratamiento y el solvente "limpio" es transferido al estanque del solvente sucio. Solvente virgen es agregado al estanque vacío de solvente limpio (Callahan, 1995).

#### **4.1.1.4 Separación de residuos**

La separación de residuos conlleva a procedimientos especiales de almacenamiento o manejo para evitar el mezclado de distintos residuos.

Los solventes contaminados deben ser dispuestos en contenedores que estén en buenas condiciones. Estos deben permanecer cerrados excepto para depositar residuos en su interior. Los contenedores deben ser inspeccionados visualmente por lo menos una vez a la semana para asegurar que se conserven en buenas condiciones y que no hay peligro inminente de filtraciones o rupturas. Los contenedores deben estar claramente etiquetados con el rótulo "**RESIDUO PELIGROSO**" u otra que identifique los contenidos exactos del contenedor, además de tener claramente marcado la fecha de inicio del periodo de acumulación (correspondiente al momento cuando se depositó la primera cantidad de residuos en su interior). Los contenedores no deben ser almacenados con materiales

incompatibles. Finalmente, durante su almacenamiento deben tomarse las medidas de seguridad prescritas en la Norma Chilena Oficial NCh.758.Of71, “Sustancias Peligrosas–Almacenamiento de sólidos, líquidos y gases inflamables–Medidas Particulares de Seguridad”.

Aunque hay solventes vírgenes que tienen puntos de inflamación superior a 60 °C, deben tomarse medidas para evitar que el solvente contaminado sea clasificado como peligroso. Un solvente con elevado punto de inflamación puede convertirse en un residuo peligroso si se contamina (mezcla) con cualquiera de los siguientes (DEHNR, 1995):

- (a) Tetracloroetileno, tricloroetileno, cloruro de metileno, 1,1,1–tricloroetano, tetracloruro de carbono, fluorocarbonos clorados, clorobenceno, 1,1,2–tricloro–1,2,2–trifluoroetano, 1,2–diclorobenceno, triclorofluorometano, cresoles, ácido cresílico y nitrobenzoceno (al contaminarse con cualquiera de éstos el solvente usado puede ser clasificado como residuo peligroso por su característica de toxicidad).
- (b) Xileno, acetona, acetato de etilo, etilbenceno, etil éter, metil isobutil cetona, n–butanol, ciclohexanona y metanol (el solvente usado puede ser clasificado como residuo peligroso por su característica de inflamabilidad).
- (c) Tolueno, metil etil cetona, disulfuro de carbono, isobutanol y piridina (el solvente usado puede ser clasificado como residuo peligroso por su características de inflamabilidad y toxicidad).
- (d) Cromo, cadmio, plomo, arsénico, bario, mercurio, plata y selenio (dependiendo de la concentración de metal pesado, el solvente usado puede ser clasificado como residuo peligroso por su característica de toxicidad).
- (e) Sustancias con bajo punto de inflamación (inferior a 60 °C) tales como nafta, aguarrás mineral, gasolina o kerosene (en cantidades suficientes, el punto de inflamación de la mezcla puede disminuir lo suficiente para clasificar el solvente usado como residuo peligroso por su característica de inflamabilidad).

#### **4.1.1.5 Manejo de materias primas**

Los siguientes procedimientos deben ser considerados al manipular cualquier líquido inflamable (Flack, 1991):

- (a) Todos los equipos y mangueras de transferencia deben conectarse a tierra para evitar la generación de chispas por estática.
- (b) Usar sólo equipos a prueba de explosiones.
- (c) Disponer de diques alrededor de los estanques de almacenamiento de solventes para la contención de derrames. Mientras mayor sea el área superficial de un líquido inflamable, mayores serán la evaporación y las posibilidades de que se inflame.

- (d) Evitar el uso de agua por sí sola al extinguir incendios provocados por fluido inflamables en general. Los solventes flotan sobre el agua, que facilitará su propagación. El agua debe mezclarse con un agente espumante; esto hará que el agua flote sobre el solvente. Sistemas de supresión en polvo son efectivos al extinguir estos incendios al excluir la fuente de oxígeno.
- (e) Separar el área de almacenamiento del área de procesos mediante un muro corta-fuegos. Este muro impedirá la propagación del incendio y minimizará daños y accidentes.
- (f) Disponer de ventilación adecuada cuando estén presentes vapores inflamables. La ventilación permitirá que la concentración de vapor permanezca bajo el límite inferior de explosión (la concentración más baja de vapor de solvente que puede mantener la combustión).<sup>6</sup>
- (g) Permitir el desplazamiento de vapores al llenar un estanque, para evitar el aumento de la presión, mediante respiraderos. El extremo de la cañería del respiradero debe tener un dispositivo corta-fuego para evitar que el fuego se propague a través de la cañería hasta el estanque.
- (h) Asegurar el flujo de fluidos inflamables a través o sobre superficies conductivas. Los solventes al caer libremente por el aire o al circular por tuberías plásticas generan carga estática. Posteriormente, una descarga estática puede comenzar un incendio. Al llenar estanques o tambores de almacenamiento, el solvente debe discurrir por un costado del tambor, o a través de un tubo conductivo que alimenta el estanque por el fondo.

## **A. Almacenamiento**

El almacenamiento de residuos inflamables deberá realizarse de acuerdo a lo establecido en la Norma Chilena Oficial NCh.389.Of74, “Sustancias Peligrosas–Almacenamiento de sólidos, líquidos y gases inflamables–Medidas Generales de Seguridad” y en la Norma Chilena Oficial NCh.758.Of71, “Sustancias Peligrosas–Almacenamiento de sólidos, líquidos y gases inflamables–Medidas Particulares de Seguridad”<sup>7</sup>.

Algunas de las medidas particulares de seguridad se detallan en los párrafos a continuación.

### **A.1. Almacenamiento en envases pequeños y en tambores**

---

<sup>6</sup> Un vapor de solvente puede inflamarse sólo si su concentración está entre el límite de explosión inferior (LEL, del inglés “*Lower Explosion Limit*”) y el límite de explosión superior (UEL, del inglés “*Upper Explosion Limit*”). Esta última es la concentración más elevada de vapor de solvente que puede mantener una llama. Estos valores se pueden encontrar en la siguiente publicación: *U.S. Department of Health and Human Services. 1994. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. U.S. Government printing Office. Washington, D.C. 20402.*

<sup>7</sup> Ambas disponibles para su consulta en el Instituto Nacional de Normalización (INN).

**Alturas de las pilas.** La altura de las pilas estará limitada por las características de resistencia de los envases y por lo dispuesto en la Tabla 4.3. No estará permitido colocar, uno encima de otros, envases de capacidad superior a 250 [l].

**Bodegas.** Las bodegas de almacenamiento cumplirán con los siguientes requisitos:

- (a) Avisos y carteles: Letrero permanente con la leyenda "**INFLAMABLE–NO FUMAR NI ENCENDER FUEGO**" con letras negras sobre el fondo amarillo. El tamaño de las letras será igual o superior a 6 [cm].
- (b) Capacidad máxima: Según Tabla 4.4.
- (c) Distancia de seguridad: Según Tabla 4.5.
- (d) Ventilación: será de capacidad suficiente como para efectuar seis cambios totales por hora del aire interior.

Tabla 4.3: Almacenamiento en el interior de locales y bodegas de líquidos inflamables contenidos en envases pequeños y en tambores. Cantidad máxima por pila

Categoría del líquido inflamable <sup>(1)</sup>	Piso en que está ubicado el almacenamiento	Almacenamiento con sistema automático de extinción de incendio		Almacenamiento sin sistema automático de extinción de incendio <sup>8</sup>	
		Volumen [l]	Altura [m]	Volumen [l]	Altura [m]
1 y 2 <sup>9</sup>	Primer <sup>10</sup> o segundo piso	10.000	1	5.000	1
	En el subterráneo	No está permitido		No está permitido	
3	Primer o segundo piso	40.000	3	10.000	1
	En el subterráneo	10.000	3	No está permitido	

- (1) Clase 1: Temperatura de inflamación < 18 °C
- Clase 2: 18 °C ≤ Temperatura de inflamación < 23 °C
- Clase 3: 23 °C ≤ Temperatura de inflamación < 61 °C

Tabla 4.4: Capacidad máxima de almacenamiento

Sistema automático de extinción	Resistencia al fuego [hora]	Superficie máxima [m <sup>2</sup> ]	Carga permisible por piso [kg/m <sup>2</sup> ]
No	1	35	80
No	2	100	200

<sup>8</sup> Resistencia mínima al fuego será de 2 horas.

<sup>9</sup> NCh.382. Sustancias Peligrosas–Terminología y Clasificación General. Instituto Nacional de Normalización (INN). Santiago, Chile.

<sup>10</sup> Primer piso: aquel que está a nivel de cota cero.

Si	1	35	200
Si	2	100	400

Tabla 4.5: Distancia de seguridad

Categoría del líquido inflamable	Distancia mínima de las pilas a los muros del local o bodega [m]	Distancia mínima a la línea medianera [m] <sup>11</sup>	Distancia mínima a la calle o vía pública [m]
1 y 2	1	10	5
3	1	5	3

**Envases.** Sólo estará autorizado almacenar líquidos inflamables en envases cuya capacidad máxima se indica en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6: Capacidad máxima permisible

Tipo de envase	Categoría del líquido inflamable		
	1	2	3
Frascos	0,5 [l]	1 [l]	4 [l]
Tarros y latas	4 [l]	20 [l]	20 [l]
Bidones	10 [l]	20 [l]	20 [l]
Tambores	250 [l]	250 [l]	250 [l]

**Drenajes.** El piso del área de almacenamiento contará con drenaje apropiado para eliminar las aguas lluvias y los derrames de líquidos inflamables. Dicho drenaje estará construido de tal manera que el líquido sea eliminado alejándose de los edificios e instalaciones, como así mismo desemboque a un lugar seguro y de fácil acceso con los elementos de lucha contra el fuego. El drenaje no caerá al desagüe de aguas lluvias, al alcantarillado ni a lugares en que pueda provocar contaminaciones.

**Pasillos.** Cada 60 [m] se dejarán pasillos de un ancho mínimo de 4 [m], sin perjuicio de los pasillos de ancho mínimo de 2 [m], que separará una pila de otra.

**Almacenamiento en el interior de edificios.** El almacenamiento de cantidades superiores a 100 [l], se efectuará sólo en depósitos, bodegas o gabinetes de almacenamiento. El almacenamiento de cantidades hasta 100 [l] se hará en un lugar limpio, bien ventilado, lejos de fuentes de calor o de chispas como así mismo de otros materiales combustibles o comburentes.

---

<sup>11</sup> Estas distancias son aplicables cuando el muro medianero es corta-fuego y los edificios ubicados al otro lado de él están construidos con materiales cuya resistencia mínima al fuego es de 1 [hora]. Si no se cumplen tales condiciones las distancias de seguridad serán duplicadas.

**Almacenamiento en el exterior de edificios.** El almacenamiento de cantidades superiores a 250 [l] se hará en bodegas, en depósitos o en recintos que cumplan con las prescripciones de la Norma Chilena Oficial NCh.758. Cuando los depósitos estén constituidos por áreas no edificadas, las distancias de seguridad a la línea medianera y a la calle o vía pública que se indican en la Tabla 4.5, serán duplicadas. La cantidad máxima de litros por pila será la indicada en la Tabla 4.4.

## A.2. Almacenamiento en estanques

**Distancia mínima de seguridad.** Las distancias mínimas de seguridad de los estanques con respecto a la línea medianera, edificios, calles o caminos, vías férreas y obras de ingeniería, serán las indicadas en la Tabla 4.7. Tales distancias serán duplicadas cuando ellas estén referidas a separaciones con respecto a edificios construidos con materiales cuya resistencia al fuego es inferior a 1 [hora], a edificios de uso público o campos deportivos.

Tabla 4.7: Distancias mínimas de seguridad<sup>12</sup>

Capacidad del estanque [l]	Distancia [m]
$250 < \textit{Capacidad} \leq 1.000$	2
$1.000 < \textit{Capacidad} \leq 3.000$	3
$3.000 < \textit{Capacidad} \leq 50.000$	5
$50.000 < \textit{Capacidad} \leq 120.000$	7
$120.000 < \textit{Capacidad} \leq 200.000$	10
$200.000 < \textit{Capacidad} \leq 400.000$	16
$400.000 < \textit{Capacidad} \leq 2.000.000$	25
$2.000.000 < \textit{Capacidad} \leq 4.000.000$	30
$4.000.000 < \textit{Capacidad} \leq 8.000.000$	40
$8.000.000 < \textit{Capacidad} \leq 12.000.000$	50
$12.000.000 < \textit{Capacidad}$	60

En el caso de bodegas, locales, recintos o plantas colindantes, la línea medianera sea materializada por un muro cortafuegos.

**Distancia entre estanques.** La distancia mínima entre estanques será la indicada en la Tabla 4.8.

---

<sup>12</sup> Cuando haya varios estanques, cada uno de ellos cumplirá con la distancia mínima correspondiente a su capacidad. Las distancias indicadas corresponden a estanques de superficie; para los subterráneos ellas pueden ser reducidas a la mitad, siempre que ello no vulnere la estabilidad de los edificios o muros colindantes o que las presiones ejercidas por éstos los afecte. Para estanques cubiertos, las distancias dependerán de las características de la cubierta, pudiendo, en algunos casos ser instalados dentro del edificio.

Tabla 4.8: Distancia entre estanques de almacenamiento

Capacidad [l]	Distancia mínima [m] <sup>13</sup>
Hasta 50.000	Un radio del menor de los estanques
Sobre 50.000	Un diámetro del menor de los estanques

**Cantidad máxima que se puede almacenar.** Para determinar la cantidad máxima de líquido inflamable que se puede almacenar en el exterior de edificios se aplica la Tabla 4.7. Para determinar la cantidad máxima de líquido inflamable que se puede almacenar en el interior de edificios se aplica la Tabla 4.9.

Tabla 4.9: Almacenamiento en estanques. Cantidad máxima permisible por almacenar en el interior de edificios

Categoría del líquido inflamable	Piso en que está ubicado el almacenamiento	Almacenamiento con sistema automático de extinción de incendio	Almacenamiento sin sistema automático de extinción de incendio
1	Cualquiera	No está permitido	
2	Primer o segundo piso	12.000 [l]	3.000 [l]
	En el subterráneo	No está permitido	
3	Primer o segundo piso	40.000 [l]	12.000 [l]
	En el subterráneo	12.000 [l]	No está permitido

## B. Transporte

Los vehículos que transportan materias inflamables deben cumplir con las medidas de seguridad y de prevención establecidas en:

- Norma Chilena Oficial NCh.385.Of55. "Medidas de seguridad en el transporte de materiales inflamables y explosivos".
- Norma Chilena Oficial NCh.387.Of55. "Medidas de seguridad en el empleo y manejo de materias inflamables".
- Norma Chilena Oficial NCh.388.Of55. "Prevención y extinción de incendios en almacenamientos de materias inflamables y explosivas".
- Norma Chilena Oficial NCh.389.Of74. "Sustancias peligrosas–Almacenamiento de sólidos, líquidos y gases inflamables–Medidas generales de seguridad".

En general, todo vehículo que transporte materias inflamables:

---

<sup>13</sup> Las distancias dadas involucran exclusivamente la seguridad, las que se requieren para el montaje, desmontaje, manipulación, etc., serán consideradas por el proyectista.

- (a) Deberá estar provisto de dos o más extintores.
- (b) Deberá arrastrar una cadena de hierro (toma tierra) para descargar la electricidad estática de la masa del vehículo. No se permitirán los acoplados.
- (c) Deberá situarse a distancia prudente del lugar en que se acumula el material descargado, para evitar que alguna chispa del motor produzca su inflamación.
- (d) Deberá tener dispositivos para detener chispas en los escapes, debidamente aislados con asbesto.
- (e) Deberá llevar, además del chofer, un cuidador especial que no deberá abandonarlo por ningún motivo antes de la descarga.

Es importante destacar que el transportista deberá estar autorizado por el Servicio de Salud respectivo.

#### **4.1.2 Reciclado**

Desde el punto de vista ambiental el sistema más efectivo de manejo de solventes sucios es su no-generación, por lo que es importante que el generador busque en primer lugar alternativas de minimización previo a la investigación de las alternativas de reciclaje del mismo.

Las alternativas de recuperación de solvente se dividen en dos grupos básicos, recuperación en la planta (*on-site*) y fuera de la misma (*off-site*). Aunque la primera simplifica la operación de manejo del residuo algunas veces no se puede optar por ella debido a que no es factible desde el punto de vista económico o simplemente porque no se produce un solvente de la calidad suficiente para ser reusado por el industrial. En estos casos una empresa recicladora de solventes puede ser la solución.

El proceso de reciclado de solventes en empresas recuperadoras se describe en detalle en el capítulo relativo a *Métodos de Control de la Contaminación* (Capítulo 5), considerándose principalmente como medida de minimización de residuos el reciclaje cuando este es realizado por el mismo generador (para su reuso dentro del mismo proceso). No obstante, la selección adecuada de la empresa recuperadora si se ha considerado como una medida de prevención de la contaminación y se entregan en este capítulo algunas recomendaciones generales.

##### **4.1.2.1 Sistemas de recuperación centralizados (*off-site*)**

Los tipos de servicios generalmente ofrecidos son tres: (a) “*toll recycling*” (el solvente es reciclado y retornado a su generador), (b) “*speculative recycling*” (el solvente reciclado no es retornado al generador del solvente contaminado), y (c) corretaje de residuos o bolsa de residuos (representa una gestión en que generador del solvente contaminado es puesto en contacto con un interesado de este residuo) (U.S. EPA, 1992).

Al estudiar la posibilidad de contratar los servicios de una empresa recuperadora de solventes, se recomienda considerar en primera instancia a los recicladores que se ubiquen en el área geográfica próxima al lugar de generación del solvente contaminado. Asimismo, se debe analizar los requerimientos de transporte. Debe considerarse que el reciclador y el transportista deben estar debidamente autorizados por el Servicio de Salud correspondiente y que el solvente usado es un residuo y debe declararse como tal.

Al investigar las posibilidades debe tenerse presente que los recicladores de solvente, por lo general, sólo manejan algunos tipos particulares de solventes, y pueden además estipular cantidades mínimas aceptadas. En particular, debe considerarse que las borras de destilación (un residuo potencialmente peligroso por sus características de inflamabilidad y/o toxicidad por lixiviación) son de responsabilidad del generador y que los servicios ofrecidos por la empresa recicladora pueden o no considerar su tratamiento.

Cuando se evalúen todas las posibilidades, se recomienda analizar la factibilidad económica de contratar los servicios de cada empresa disponible, considerando los siguientes factores:

- (a) La *calidad del solvente reciclado* (mientras mayor sea el nivel de especificación para el solvente reciclado mayor será el costo de recuperación).
- (b) La *calidad del solvente usado* (el segregar los solventes, mantenerlos libres de la contaminación con agua va a mejorar su factibilidad de reciclaje y va a reducir los costos del proceso).
- (c) La *cantidad* (a mayor cantidad puede disminuir el costo unitario del proceso).
- (d) Los *costos de disposición* de las borras y porción no recuperada del residuo (cuando corresponda).
- (e) Los *costos de transporte*.

Cuando se adquiera solvente reciclado se recomienda fuertemente conocer la calidad del mismo. Se debe solicitar análisis de los solventes reciclados y asegurarse que estos poseen el nivel de pureza solicitado.

Si la calidad del solvente reciclado no es la apropiada pueden producirse los siguientes problemas:

- (a) El contenido bajo de inhibidor ácido incrementa la susceptibilidad a condiciones ácidas.
- (b) El contenido bajo contenido de estabilizador metálico, reduce la protección a la corrosión y disminuye la vida útil del solvente.
- (c) Contenido excesivo de estabilizador metálico, aumenta el peligro de inflamabilidad.
- (d) Una proporción inadecuada de estabilizadores, reduce su efectividad.
- (e) La presencia de solventes incompatibles, aumenta la susceptibilidad a condiciones ácidas.
- (f) La contaminación con agua reduce la vida útil del solvente y aumenta la posibilidad de corrosión.

Finalmente, se sugiere analizar la reputación de la empresa y solicitar a ésta una presentación de sus actividades en el pasado. También es aconsejable consultar a otros clientes y conversar acerca de sus experiencias.

#### **4.1.2.2 Sistemas de destilación *on-site***

Algunos de los potenciales beneficios de la recuperación de solvente contaminado en el mismo lugar de generación son: (a) reducción del monto de residuos peligrosos generados y almacenados en el sitio de generación, (b) reducción en los requerimientos (regulatorios) de declaración como generador de residuos, (c) reducción de la cantidad de solvente virgen a ser comprado, y (d) reducción en la responsabilidad asociada al transporte y tratamiento externo de los solventes. Estos beneficios se deben principalmente a la disminución en el volumen total de residuos que serán generados y deberán ser dispuestos externamente por el industrial.

El proceso de reciclado de solventes mediante destilación en se describe en detalle en el capítulo relativo a *Métodos de Control de la Contaminación* (Capítulo 5).

#### **A. Adquisición de una unidad de destilación**

Al considerar la adquisición de una unidad de destilación, se deben considerar aspectos tales como los indicados a continuación (WSDE, 1995; OWRS, 1991):

- (a) La factibilidad de destilar una muestra del residuo. Esto permitirá evaluar la calidad del producto recuperado y determinar la proporción del residuo inicial que puede ser recuperado.
- (b) Facilidad de instalación de la unidad. Se deben identificar los requerimientos especiales de instalación tales como suministro de electricidad o agua.
- (c) Disponibilidad de manuales de entrenamiento y entrenamiento del operador. Esto permitirá asegurar que el operario asignado a la unidad tiene los conocimientos necesarios para su correcta y segura operación.
- (d) Tipo de mantención requerida. Disponibilidad de manuales de mantención.
- (e) Necesidad de mantener diferentes tipos de solventes separados. En caso afirmativo, los operarios deben ser capacitados con respecto a los procedimientos de separación de los solventes.
- (f) Necesidad de operación al vacío. Una unidad a vacío disminuye la temperatura de ebullición. Si se dispone de grandes volúmenes de solvente con elevado punto de ebullición, una unidad de destilación al vacío hace el proceso más eficiente desde el punto de vista de consumo energético. Una unidad a vacío también puede ser usada para evitar problemas cuando al destilar compuestos sensitivos a la temperatura. Sin embargo estas unidades son más costosas que las unidades de destilación a presión atmosférica.
- (g) Tipo de condensador requerido. La selección del condensador apropiado depende del tipo de solvente a destilar. Un condensador inadecuado condensará sólo una porción de

los vapores, permitiendo el escape de la fracción no-condensada. En algunos casos un condensador enfriado con aire puede ser suficiente. Sin embargo, estos no son tan efectivos como los condensadores enfriados con agua al controlar la temperatura del vapor.

- (h) Deterioro de los componentes. Se debe usar un destilador construido con componentes que son compatibles con el solvente.

## **B. Operación de una unidad de destilación**

Para recuperar un solvente de buena calidad, se recomiendan los siguientes procedimientos (WSDE, 1995; OWRS, 1991):

- (a) Destilar diferentes tipos de solventes en forma separada y no mezclar diferentes tipos de solventes contaminados en un mismo contenedor.
- (b) No contaminar los solventes con agua.
- (c) La unidad de destilación debe disponer del rango de temperatura apropiado, capacidad suficiente y tiempo de residencia requeridos para procesar el solvente sucio. La nitrocelulosa se incendia fácilmente en condiciones de temperatura elevada y se descompone exotérmicamente en estado gaseoso, luego es necesario tomar precauciones especiales al reciclar solventes que contienen este material.
- (d) Un bajo contenido de sólidos en el material a ser destilado ayuda en la operación eficiente del destilador.
- (e) Si el solvente recuperado no puede ser usado en el proceso original (en el cual fue contaminado) se debe buscar usos alternativos tales como en la limpieza de equipos de pintado. Al mezclar solvente virgen con solvente recuperado, es probable que este último no recupere su efectividad original. En muchos casos, mezclas de solventes son usadas en los procesos de limpieza, y la destilación simple de estas mezclas genera (con frecuencia) productos que difieren en composición con respecto a las mezclas originales; los solventes reciclados pueden ser satisfactorios en algunos procesos de limpieza, pero pueden no ser útiles en el proceso original. En otros casos, por ejemplo con el 1,1,1-tricloroetano, el solvente puede degradarse y tornarse ácido durante su uso, lo que afecta la capacidad de reciclar el solvente.
- (f) El éxito de un programa de reciclado de solvente puede depender del disponer de una persona encargada para supervisar e iniciar la operación.
- (g) Aunque los equipos de recuperación de solvente con poca capacidad, pueden con frecuencia ser operados manualmente, es razonable automatizarlos en la medida que esto sea posible. Esto asegura que la secuencia apropiada será ejecutada cada vez manteniendo bajos los costos de operación y mejorando las condiciones de seguridad.

La generación de borras debe ser minimizada mediante filtración previa a la destilación, si es esto posible, y operando el destilador de manera tal que la máxima cantidad de solvente es recuperada (WSDE, 1995).

En algunos casos las borras pueden ser reutilizadas en el proceso de producción, y se recomienda considerar esta posibilidad previo al análisis de las alternativas de disposición.

### C. Proveedores de equipos

El listado de proveedores de unidades de destilación para la recuperación de solventes entregado a continuación, no es exhaustivo, siendo el universo mucho más grande. Los nombres que aquí aparecen se presentan sólo a modo indicativo y corresponden a las empresas contactadas que manifestaron algún interés por la situación nacional.

Tabla 4.10: Proveedores de sistemas de destilación para recuperar solventes

Empresa	Contacto
<p><b>CB Mills Div. Of Chicago Boiler Co.</b> 1300 Northwestern Ave., Gurnee, IL 60031-2348. USA. Fono: 1-847-662-4000. Fax: 1-847-662-4003 <a href="http://www.cbmills.com">http://www.cbmills.com</a></p>	<p><b>Sr. Sergio Pera</b> email: <a href="mailto:inkmaker@uol.com.br">inkmaker@uol.com.br</a> <b>Inkmaker.</b> Rua da Paz 412/222 Curitiba-CEP 80060-160PR. Brasil. Fono: 55-41-362-9862. Fax: 55-41-362-9862</p>
<p><b>IRAC Srl.</b> Via Palmiro Togliatti, 46/2/a. 42020 Montecavolo di Quattrocastella (RE). Italy. Fono: 39-522-880321. Fax: 39-522-880812 <a href="http://www.ittc.it/irac/default.htm">http://www.ittc.it/irac/default.htm</a></p>	<p><b>Sra. Federica Dazzi</b> email: <a href="mailto:iracsale@itc.it">iracsale@itc.it</a></p>
<p><b>Omega Recycling Technology.</b> 5524 Ferrier, Montreal, PQ H4P 1M2. Canada. Fono: 1-514-737-41 00. Fax: 1-514-731-16 84</p>	<p><b>Sr. Francisco Ehrmann</b> <b>Society Recycling Instruments Ltda.</b> Cerro Santa Lucia 9981, Galpón C. Quilicura, Santiago. Fono: 2-7471241</p>
<p><b>PBR Industries.</b> 143 Cortland Street, Linderhurst, N.Y. 11757. USA. Fono: 1-516-226-2930. Fax: 1-516-226-3125 <a href="http://www.pbrind.com">http://www.pbrind.com</a></p>	<p><b>Sr. Michael Robbins</b> email: <a href="mailto:mnrobby@ibm.net">mnrobby@ibm.net</a></p>
<p><b>PURASTILL Division of Patoman, Inc.</b> P.O. Box 3136. 900 N. Westwood Ave. Toledo, OH43607. USA. Fono: 1-419-536-7384. Fax: 1-419-536-9589 <a href="http://www.toltbbs.com/~purastill/index.htm">http://www.toltbbs.com/~purastill/index.htm</a></p>	<p><b>Sr. Frank Reynolds</b> email: <a href="mailto:FJR424@aol.com">FJR424@aol.com</a></p>
<p><b>Recycling Sciences, Inc.</b> 16619 Wikiup Road, Ramona, CA 92065-4161. USA. Fono: 1-760-789-9341. Fax: 1-760-787-0249 <a href="http://www.rescience.com/index.htm">http://www.rescience.com/index.htm</a></p>	<p><b>Sr. Eduardo Manoukian</b> email: <a href="mailto:smym@internet.siscotel.com">smym@internet.siscotel.com</a> <b>SMIM Srl.</b> Enrique Santamarina 235, C.P. 1842, Monte Grande, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Fono: 54-11-42902708. Fax: 54-11-42902708.</p>
<p><b>Westport Environmental Systems.</b> 251 Forge Road,</p>	<p>email: <a href="mailto:bailey@wesenvsys.com">bailey@wesenvsys.com</a></p>

Empresa	Contacto
<p><i>Westport, MA 02790-0217. USA. Fono: 1-508-636-8811. Fax: 1-508-636-2088</i></p> <p><a href="http://www.wesenvsys.com/">http://www.wesenvsys.com/</a></p>	
<p><b>B/R Instrument Corporation.</b> <i>9119 Centreville Road, Easton, Maryland 21601. USA. Fono: 1-410-820-8800. Fax: 1-410-820-8141</i></p> <p><a href="http://www.brinstrument.com/">http://www.brinstrument.com/</a></p>	<p><b>Sr. Paul F. Van Trieste</b> email: <a href="mailto:brintl@brinstrument.com">brintl@brinstrument.com</a></p>
<p><b>Progressive Recovery, Inc.</b> <i>700 Industrial Drive, Dupo, Illinois 62239. USA. Fono: 1-618-286-5000. Fax: 1-618-286-5009</i></p> <p><a href="http://www.progressive-recovery.com/index.html">http://www.progressive-recovery.com/index.html</a></p>	<p><b>Sr. Wayne Humphrey</b> email: <a href="mailto:Pridupo@aol.com">Pridupo@aol.com</a></p>
<p><b>Kleer-Flo Company.</b> <i>15151 Technology Drive, Eden Prairie, MN 55344-2294. USA. Fono: 1-612-934-2555. Fax: 1-612-934-3909</i></p> <p><a href="http://www.kleer-flo.com/recycling/seprator.htm">http://www.kleer-flo.com/recycling/seprator.htm</a></p>	<p><b>Sr. Ward Blomquist</b> email: <a href="mailto:KLEER-FLO@email.msn.com">KLEER-FLO@email.msn.com</a></p>

#### 4.2 Implementación de Sistemas de Gestión Ambiental

Un sistema de gestión ambiental puede ser descrito como un programa de mejoramiento ambiental continuo, que consta de una secuencia de etapas definidas tomadas de la práctica de manejos de proyectos y aplicados en forma rutinaria en el área de administración. Estos pasos pueden resumirse en términos simples de la siguiente manera (World Bank, 1997): (a) revisión de las consecuencias ambientales de las operaciones, (b) definición de un conjunto de políticas y objetivos para la eficiencia ambiental, (c) establecimiento de un plan de acción para lograr los objetivos, (d) seguimiento de la eficiencia en relación a estos objetivos, (e) informar adecuadamente los resultados, y (f) revisión del sistema y resultados, y buscar el mejoramiento continuo.

No todos los sistemas presentarán estas etapas de manera igual pero los principios son claros y sencillos de comprender, y pueden ser fácilmente aplicados mientras haya interés y apoyo.

La implementación de buenas prácticas de gestión de operaciones al interior de la empresa se basa en la puesta en práctica de una serie de procedimientos o políticas organizacionales y administrativas destinados a mejorar y optimizar los procesos productivos y a promover la participación del personal en actividades destinadas a lograr la minimización de los residuos. Dentro de estas prácticas se incluyen las políticas de personal (capacitación, uso de incentivos), medidas para incluir mejoras en los procedimientos y medidas de prevención de pérdidas.

A nivel internacional la serie de estándares ISO14000<sup>14</sup> regulan la gestión ambiental dentro de la empresa, en lo que respecta a la implementación de un sistema de gestión ambiental y auditorías ambientales a la empresa, entre otros. En particular, la norma ISO14001 “Sistemas de gestión ambiental–Especificación con guía para el uso”, especifica los requisitos para un sistema de gestión ambiental, que permita a una determinada organización formular políticas y objetivos teniendo en cuenta los requisitos legales y la información sobre impactos ambientales significativos.

La calidad es definida de muchas formas por el sector industrial, usualmente en términos de producir un producto que cumpla los requerimientos del cliente. Generalmente, la calidad de un producto no es causada por coincidencias si no que se basa en programas de mejora de calidad establecidos o sistemas de manejo de calidad. Estos sistemas se focalizan en la reducción de defectos, reducción de costos, análisis de procesos, acciones preventivas y correctivas y mejoramiento continuo. Los defectos son residuos, por ejemplo materia prima desechada, trabajo desechado, productos desechados y dinero desechado. Los esfuerzos por mejorar la calidad y reducir estos defectos son finalmente esfuerzos por reducir la generación de desechos o residuos. Por esto un programa de mejora de calidad es un programa de prevención de contaminación.

Generalmente la implementación de un sistema de gestión ambiental, en particular el sistema ISO14000, es vista como la forma de demostrar el nivel de compromiso ambiental de la empresa. No obstante, el beneficio directo para la empresa al implementar un sistema de gestión ambiental es obtener economías a través de una producción más limpia y minimización de residuos.

---

<sup>14</sup> NCh–ISO 14001.c96. “Sistemas de gestión ambiental–Especificación con guía para el uso”. Instituto Nacional de Normalización (INN). Santiago, Chile.

NCh–ISO 14004.c96. “Sistemas de gestión ambiental–Guías generales sobre principios, sistemas y técnicas de soporte”. Instituto Nacional de Normalización (INN). Santiago, Chile.

NCh–ISO 14010.c96. “Directrices generales para auditoría ambiental–Principios generales”. Instituto Nacional de Normalización (INN). Santiago, Chile.

NCh–ISO 14011.c96. “Directrices generales para auditoría ambiental–Procedimientos de auditoría–Auditoría de sistemas de gestión ambiental”. Instituto Nacional de Normalización (INN). Santiago, Chile.

NCh–ISO 14012.c96. “Directrices generales para auditoría ambiental–Criterios de calificación para auditores ambientales”. Instituto Nacional de Normalización (INN). Santiago, Chile.

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

Se presentan a continuación métodos clasificados como “demostrados” en Estados Unidos (es decir, existen procesos de tratamiento a nivel industrial operando eficientemente en dicho país) para el tratamiento de residuos acuosos y borras de solventes, en particular de residuos contaminados con cualquiera de los siguientes: 1,1,1-tricloroetano, 1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoroetano, 1,2-diclorobenceno, acetato de etilo, acetona, ácido cresílico, ciclohexanona, clorobenceno, cloruro de metileno, cresoles, disulfuro de carbono, etil éter, etilbenceno, fluorocarbonos clorados, isobutanol, metanol, metil etil cetona, metil isobutil cetona, n-butanol, nitrobenceno, piridina, tetracloroetileno, tetracloruro de carbono, tolueno, tricloroetileno, triclorofluorometano y xileno.

### **5.1 Residuos Líquidos**

#### **5.1.1 Adsorción con Carbón**

La adsorción por carbón es una tecnología considerablemente aceptada para la remoción de compuestos orgánicos desde aguas residuales. Es una tecnología de tratamiento usada en el tratamiento de residuos líquidos con un contenido inferior a 1.000 [mg/l] de compuestos orgánicos disueltos; es también usada, aunque en menor grado, para la remoción de metales disueltos y otros contaminantes inorgánicos (U.S. EPA, 1989).

Generalmente, el residuo líquido a ser tratado es forzado a circular en forma descendente a través de un lecho estacionario de carbón. El contaminante que requiere ser removido es adsorbido más eficiente y rápidamente en las capas superiores de carbón durante las etapas iniciales de la operación. Estas capas superiores están en contacto con los niveles de concentración más altos del agua residual.

A medida que el agua residual continua siendo alimentada al lecho de carbón, las capas superiores se saturan y la capacidad de adsorción disminuye. Así, a medida que la zona de adsorción desciende, mayores cantidades del contaminante escapan en el efluente. Al aproximarse la zona de adsorción a la parte inferior del lecho, la concentración en el efluente aumenta rápidamente alcanzando concentraciones similares a la del afluente. En este punto de operación, todo el carbón en la columna está en equilibrio con el agua residual alimentada, y se consigue muy poca remoción adicional del contaminante si se continua operando el sistema; en esta etapa de la operación el carbón debe entonces ser reemplazado o regenerado.

#### **5.1.2 Arrastre con Vapor**

El arrastre con vapor es una forma de destilación aplicable al tratamiento de aguas residuales que contienen compuestos orgánicos que son lo suficientemente volátiles para ser removidos mediante la aplicación de calor usando vapor de agua como fuente de calor.

Generalmente, este proceso es usado cuando el agua residual contiene menos de 1% de compuestos orgánicos volátiles (U.S. EPA, 1989).

Una unidad de arrastre con vapor consiste de un hervidor, una columna de arrastre, un condensador y un estanque de recolección. El hervidor entrega el calor necesario para evaporizar la fracción líquida del residuo. La columna de arrastre se compone de un conjunto de bandejas o de relleno colocado en una columna vertical.

El proceso de arrastre emplea múltiples etapas de equilibrio, alimentándose la mezcla de residuo inicial en la etapa más alta. El hervidor se coloca bajo la etapa de equilibrio más baja, permitiendo que el vapor ascienda por la columna y entre en contacto con el líquido que desciende. A medida que el vapor entra en contacto con el líquido en cada etapa, los componentes más volátiles son “arrastrados” desde el líquido por el vapor. El vapor emergente está enriquecido con los constituyentes más volátiles y el líquido que se descarga por el fondo contiene elevadas concentraciones de los constituyentes con presión de vapor más baja, frecuentemente predomina el agua. El contenido orgánico del efluente que se descarga por el fondo de la columna es bajo, pero puede requerir tratamiento adicional tal como adsorción con carbón o tratamiento biológico. El vapor de agua y vapores orgánicos que salen por el tope de la columna son condensados y separados en un receptor de producto. Los compuestos orgánicos de la fase orgánica son generalmente recuperados o dispuestos en un incinerador. El condensado acuoso es recirculado a la columna.

### **5.1.3 Tratamiento Biológico**

El tratamiento biológico es una tecnología ampliamente aceptada para la remoción de compuestos orgánicos desde aguas residuales. Las concentraciones de compuestos orgánicos que pueden ser removidas de manera eficiente varían ampliamente dependiendo de las características químicas y físicas de las aguas residuales. El rango de aplicabilidad del tratamiento varía desde 0,01 a varios cientos de partes por millón en el agua residual.

#### **Lodos activados**

El agua residual que contiene contaminantes orgánicos ingresa a un estanque provisto de aireación donde una población bacteriana aeróbica es mantenida en suspensión. Oxígeno es suministrado al estanque de aireación mediante aireación mecánica o difusores. Una porción del licor de mezcla es descargada continuamente desde el estanque de aireación al clarificador, donde la biomasa es separada del agua residual tratada a través de sedimentación. Una porción de la biomasa es recirculada al estanque de aireación para mantener una concentración óptima de microorganismos; la biomasa restante es purgada. El efluente clarificado es descargado.

#### **Lagunas aireadas**

Una laguna aireada es un estanque o laguna grande, equipada con aireadores mecánicos para mantener las condiciones aeróbicas y para evitar que la biomasa sedimente. En un principio, la población de microorganismos en una laguna aireada es mucho menor que en

un sistema de lodos activados porque no hay recirculación de lodos. Un tiempo de residencia significativamente mayor es por lo tanto necesario para conseguir la calidad especificada del efluente. Sin embargo, este mayor tiempo de residencia puede ser una ventaja cuando compuestos orgánicos complejos deben ser degradados. El efluente de la laguna puede ser conducido a una unidad de sedimentación secundaria para remover los sólidos suspendidos. Alternativamente, los aireadores pueden detenerse durante un periodo para facilitar la sedimentación antes de descargar el efluente.

### **Filtros percoladores**

El proceso involucra el contacto entre el agua residual que contiene contaminantes orgánicos y una población de microorganismos fijos o adheridos a la superficie del medio filtrante. Como medio filtrante típicamente se usan rocas o materiales sintéticos tales como anillos plásticos. El agua residual es distribuida sobre el filtro mediante un sistema de distribución fijo o rotatorio. El agua residual forma una delgada capa a medida que desciende a través del filtro y sobre la capa de microorganismos que está sobre la superficie del relleno. A medida que el distribuidor rota, la capa de microorganismos es expuesta alternativamente al flujo de agua residual y al aire. En el caso de un sistema de distribución fijo, el flujo de agua residual es sometido a un ciclo de encendido y apagado, manteniendo una dosificación especificada, para asegurar que un suministro adecuado de oxígeno está disponible para los microorganismos. El oxígeno del aire llega a los microorganismos a través de los espacios vacíos en el relleno. Los filtros percoladores disponen de un sistema de drenaje inferior para recolectar el agua residual tratada y todo material biológico que pueda desprenderse desde la superficie del relleno.

El material orgánico presente en el agua residual es adsorbido a la película biológica. La degradación aeróbica de los contaminantes orgánicos hace que los microorganismos crezcan, resultando en un aumento del grosor de la película biológica. El oxígeno que se difunde en la película es consumido antes de penetrarla en su totalidad. Luego, se establece un medio anaeróbico en la proximidad de la superficie del medio filtrante. Eventualmente, los microorganismos en la superficie del relleno comienzan una fase de crecimiento endógeno, debido a la ausencia de material orgánico (metabolizado totalmente antes de llegar a esta zona), y pierden la capacidad de adherirse a la superficie. El agua residual lava la película sobre el relleno y una nueva película biológica comienza a crecer.

### **Biodiscos**

Los contactores biológicos rotatorios o biodiscos, consisten de una serie de discos paralelos, muy cercanos entre sí, que son rotados mientras están sumergidos parcialmente en un estanque de agua residual. Los discos están contruidos de poliestireno, cloruro de polivinilo, o materiales similares. Cada disco es recubierto con una película biológica que degrada el material orgánico disuelto en el agua residual. La rotación de los discos permite la exposición de los microorganismos al aire. A medida que un disco rota fuera del agua, la película de agua que lo cubre es expuesta al aire donde hay oxígeno disponible para la descomposición aeróbica. Un exceso de biomasa es producido que se desprende del disco y es separado del efluente del proceso en un sedimentador secundario.

#### 5.1.4 Oxidación con Aire Húmedo

La oxidación con aire húmedo es un sistema de tratamiento aplicable a aguas residuales que contienen compuestos orgánicos y compuestos inorgánicos oxidables tales como cianuros. El proceso puede ser usado para tratar aguas residuales que tienen mayores concentraciones de materia orgánica que aquellas normalmente tratadas mediante sistemas biológicos, adsorción con carbón u oxidación química, pero que son aún demasiado diluidas para ser tratadas eficientemente por procesos térmicos tales como incineración. La oxidación con aire húmedo es mejor aplicada a residuos que tienen concentraciones de compuestos orgánicos disueltos o suspendidos en el rango de 500 a 15.000 [mg/l]. Bajo 500 [mg/l] la velocidad de oxidación con aire húmedo para la mayoría de los constituyentes orgánicos es demasiado lenta y son más aplicable sistemas de tratamiento biológico, adsorción con carbón u oxidación química. Para residuos más concentrados, procesos térmicos, tal como incineración, pueden ser más aplicables.

La oxidación con aire húmedo puede ser aplicada a residuos con concentraciones importantes de metales (aproximadamente 2%).

Es importante destacar que la oxidación con aire húmedo se realiza a través de una serie de reacciones y que los productos de reacción intermedios no son siempre tan fácilmente oxidados como los constituyentes originales del residuo. Algunas observaciones empíricas al respecto se indican a continuación:

- (1) Los compuestos alifáticos, aún halogenados, pueden ser destruidos dentro de las condiciones convencionales del proceso. Se forman compuestos oxigenados (tales como ácidos carboxílicos, cetonas, aldehidos y alcoholes de bajo peso molecular) que son fácilmente tratados en un sistema biológico.
- (2) Hidrocarburos aromáticos, tales como tolueno o pireno, son fácilmente oxidados.
- (3) Los compuestos aromáticos halogenados pueden ser oxidados siempre y cuando exista por lo menos un grupo funcional no halogenado en el anillo (por ejemplo, pentaclorofenol [-OH] o 2,4,6-tricloroanilina [-NH<sub>2</sub>])
- (4) Compuestos aromáticos halogenados, tales como 1,2-diclorobenceno y PCBs, son resistentes a la oxidación con aire húmedo bajo las condiciones convencionales.
- (5) Se espera que compuestos halogenados con anillos, tales como algunos pesticidas, sean resistentes a la oxidación con aire húmedo.
- (6) Se espera que compuestos heterocíclicos que contienen oxígeno, nitrógeno o azufre sean destruidos por oxidación con aire húmedo porque los átomos de oxígeno, nitrógeno o azufre constituyen un punto de ataque para que ocurran las reacciones de oxidación.

Un sistema convencional consiste de una bomba de alimentación de líquido a alta presión, una fuente de oxígeno (compresor de aire), un reactor, intercambiadores de calor, un separador líquido-vapor, y reguladores de proceso. En un proceso típico *batch*, una solución catalizadora de cobre puede ser mezclada con el residuos acuoso si ensayos

preliminares indican la necesidad de un catalizador. El residuo es luego bombeado a la cámara de reacción. El residuo acuoso es presurizado y calentado hasta alcanzar respectivamente la presión y temperatura de diseño. Luego de que las condiciones de reacción han sido establecidas, se alimenta aire al reactor durante el tiempo de reacción de diseño. Al completarse el proceso, sólidos suspendidos o gases son removidos y el residuo tratado remanente es descargado directamente o alimentado a un sistema de tratamiento biológico, adsorción con carbón u oxidación química si se requiere antes de su descarga.

En un proceso de operación continua, el residuo es presurizado, mezclado con aire u oxígeno presurizado, precalentado en una serie de intercambiadores de calor por el efluente caliente del reactor y por vapor de agua, y alimentado al reactor. El flujo de alimentación de residuo controla el tiempo de residencia del reactor. El residuo tratado es separado en un separador gas-líquido, siendo los gases tratados en un sistema de control de las emisiones o descargado directamente a la atmósfera, y los líquidos descargados directamente o tratados previamente.

## 5.2 Residuos Sólidos

### 5.2.1 Recuperación de Solventes

En la Región Metropolitana, las empresas recuperadoras de solvente para reuso como solvente y para uso como combustible alternativo son cuatro. Existe una quinta empresa en San Antonio, Quinta región, que también recupera solventes usados de empresas de la Región Metropolitana.

Tabla 5.1: Empresas recuperadoras de solvente usado

<b>Recuperación de solvente para reuso como solvente</b>
<b>QUÍMICA ECOPAR LTDA.</b> Eucaliptus, Parcela 110, San Antonio. Teléfono: 231147
<b>RECICLAJES ECOTRANS LTDA.</b> Camino Santa Margarita 0601, Galpón 41, San Bernardo, Santiago. Teléfono: 8542123
<b>SOCIEDAD COMERCIAL E INDUSTRIAL SERCOIN SCI LTDA.</b> Las Acacias 02519, San Bernardo, Santiago. Teléfono: 5283679
<b>SOCIETY RECYCLING INSTRUMENTS LTDA.</b> Cerro Santa Lucia 9981, Galpón C, Quilicura, Santiago. Teléfono: 7471241
<b>Recuperación de solvente para uso como combustible alternativo</b>
<b>BRAVO ENERGY CHILE S.A.</b> Av. Las Industrias 12600, Maipú, Santiago. Teléfono: 5350514

#### 5.2.1.1 Recuperación solvente para reuso como solvente

##### Destilación por Lotes

La destilación por lotes es uno de varios sistemas de tratamiento térmico que son adecuados para el tratamiento de residuos que contienen compuestos orgánicos los suficientemente volátiles como para ser removidos por calor. Esta tecnología puede ser usada para tratar residuos con un elevado porcentaje de compuestos orgánicos. El uso de esta tecnología resulta en la generación de un producto orgánico que puede ser reusado directamente o luego de algún tratamiento, y un lodo que es frecuentemente incinerado.

Una unidad de destilación por lotes consiste de un receptáculo provisto de una carcasa por donde circula vapor de agua, un condensador y un estanque de recolección. El vapor de agua en la carcasa suministra el calor requerido para vaporizar los constituyentes volátiles en la fracción líquida del residuo. El vapor ascendente es recolectado en el condensador, enfriado y condensado. El producto líquido es luego conducido al estanque de recolección.

Es importante hacer notar que este proceso trata los residuos mediante evaporación de sus constituyentes y no destruyéndolos. Correspondientemente, una parte integral del proceso son el sistema de condensación para recolectar los compuestos orgánicos, y el sistema de control de las emisiones atmosféricas para recolectar aquellos compuestos orgánicos que no condensaron.

Los lodos, que son los constituyentes menos volátiles del residuo, son retirados por el fondo del destilador. Porque la destilación por lotes es usada para remover los compuestos orgánicos volátiles de los residuos, el contenido de estos en el lodo es bajo. Sin embargo, el lodo generalmente requiere tratamiento adicional antes de ser dispuesto.

### **Evaporación de Película Delgada**

La evaporación de película delgada es una forma de destilación aplicable al tratamiento de residuos que contienen compuestos orgánicos que son los suficientemente volátiles para ser removidos por la aplicación de calor. Este proceso puede ser empleado para tratar residuos orgánicos altamente concentrados. Sin embargo, la alimentación al evaporador debe contener una baja concentración de sólidos suspendidos. El uso de este proceso resulta en un producto orgánico que puede ser reusado o tratado, y un lodo que es frecuentemente incinerado.

Un evaporador de película delgada consiste de un receptáculo cilíndrico provisto de una carcasa por donde circula vapor de agua y un condensador. La superficie calentada con vapor de agua del receptáculo cilíndrico suministra el calor requerido para evaporizar los constituyentes volátiles en el residuo. Las paredes del evaporador son calentadas por su exterior a medida que el residuo alimentado se desliza por las paredes interiores formando una película delgada. Único a este sistema de destilación es el dispositivo de distribución que reparte la delgada película sobre la superficie caliente. El flujo de alimentación es controlado para que los componentes más volátiles dispongan de tiempo suficiente para evaporarse. La transferencia de calor desde el medio calefactor (vapor de agua) al residuo es determinado por sus temperaturas relativas, por la velocidad de transferencia de calor del material del evaporador, y las propiedades térmicas del residuo que forma la película. El vapor ascendente es recolectado por el tope de la columna, enfriado y condensado. El

producto líquido condensado es conducido al receptor de producto. El lodo (los componentes menos volátiles del residuo) es retirado continuamente por el fondo del evaporador. Porque la evaporación de película delgada es usada para remover compuestos orgánicos volátiles desde los residuos, el lodo tiene un contenido reducido de los mismos. Sin embargo, este requiere generalmente de tratamiento adicional, tal como incineración, antes de su disposición final.

### **Fraccionamiento**

El fraccionamiento es una forma de destilación aplicable al tratamiento de residuos que contienen compuestos orgánicos que son los suficientemente volátiles para ser removidos por la aplicación de calor. Este difiere de otros procesos de destilación, tales como la destilación por lotes, arrastre con vapor y evaporación de película delgada, porque es diseñado para obtener el destilado más puro de los componentes separados. El fraccionamiento puede ser operado para producir múltiples flujos de producto para la recuperación de más de un constituyente orgánico. En general, este proceso es usado cuando se desea recuperar múltiples constituyentes y el residuo contiene cantidades mínimas de sólidos suspendidos.

Una unidad de fraccionamiento consiste de un hervidor, una columna con secciones de arrastre y rectificación, un condensador y un sistema de reciclado. El hervidor es un dispositivo que suministra el calor requerido para evaporar la fracción líquida del residuo; entrega suficiente calor para mantener al líquido en la columna en su punto de ebullición. Las secciones de arrastre y rectificación consisten de bandejas dispuestas en una columna vertical. Las bandejas pueden ser reemplazadas por material de relleno no-compacto consistente de formas geométricas de cerámica, metal o plástico, que proveen el área superficial para la ebullición/condensación que continuamente ocurre al interior de la columna. En la sección de arrastre, el vapor que asciende desde el hervidor entra en contacto con el líquido que desciende. A través de este contacto, los constituyentes que tienen puntos de ebullición más bajos son concentrados en el vapor. En la sección de rectificación, el vapor que se eleva sobre la bandeja de alimentación entra en contacto con el líquido condensado que desciende. Mediante este contacto, los constituyentes de punto de ebullición más bajos se concentran aún más en el vapor. El vapor ascendente es recolectado por el tope de la columna y condensado. El producto líquido, exceptuando la porción que es retornada a la columna, es conducido al receptor de producto. El lodo con los componentes menos volátiles, es retirado continuamente desde el hervidor.

Debido a que la composición de líquido varía levemente desde una etapa de equilibrio a la siguiente, es también posible retirar fracciones de distinta calidad desde puntos distintos a lo largo de la columna.

#### **5.2.1.2 Uso como combustible alternativo**

- **Contenido de halógenos.** Si se queman compuestos orgánicos halogenados, entonces dentro de los productos de combustión se presentan ácidos halogenados y halógenos libres. Estos gases corrosivos pueden requerir un tratamiento posterior antes de ser

descargados a la atmósfera. Además, es probable que los halógenos y ácidos halogenados formados durante la combustión causen problemas de corrosión en los equipos. Para minimizar tales problemas, los residuos halogenados son mezclados con combustibles sólo en concentraciones muy pequeñas. Un contenido elevado de cloro puede también conducir a la producción incidental de otros compuestos peligrosos tales como bifenilos policlorados (PCBs), dibenzo-p-dioxinas cloradas, dibenzofuranos clorados y fenoles clorados. Además, un alto contenido de halógenos puede producir problemas a las estructuras construidas en base a cemento en cuya producción se utilizó el solvente sucio como combustible alternativo.

- **Contenido de sólidos inorgánicos (cenizas).** El contenido elevado de cenizas en los residuos puede producir dos problemas, formación de incrustaciones y emisiones de material particulado. Las incrustaciones se producen por la deposición de sólidos inorgánicos sobre las paredes del equipo. Las emisiones de material particulado se producen por los constituyentes inorgánicos no combustibles que salen junto con los productos gaseosos de la combustión. Debido a estos problemas, los residuos con concentraciones importantes no son generalmente usados en calderas a menos que dispongan de un sistema para controlar las emisiones atmosféricas.
- En los hornos industriales, las concentraciones de metales pesados pueden ser de importancia ambiental si estos son descargados en las emisiones atmosféricas resultantes del proceso de combustión, o en las cenizas. El fraccionamiento de los metales pesados entre estas corrientes de residuos depende principalmente de la volatilidad del metal, de la matriz del residuo y del diseño del horno.
- **Poder calorífico.** El poder calorífico del residuo debe ser lo suficientemente alto (por sí sólo o al combinarse con otros combustibles) para mantener temperaturas de combustión consistentes con una eficiente destrucción del residuo y con la operación del horno o caldera. En muchos casos, sólo residuos que tienen poder calorífico como mínimo en el rango de 4.400 a 5.600 [kcal/kg], son considerados.
- **Viscosidad.** En el caso de residuos líquidos, la viscosidad debe ser lo suficientemente baja para que puedan ser pulverizados en la cámara de combustión. Si la viscosidad es demasiado alta, puede ser necesario el calentar previamente los estanques de almacenamiento. Típicamente se requieren viscosidades menores a 160 [mm<sup>2</sup>/s] para la pulverización de los líquidos.
- **Contenido de sólidos filtrables.** Un residuo líquido es inaceptable si su contenido de material filtrable en suspensión impide o dificulta su bombeo o pulverización.
- **Contenido de azufre.** El azufre contenido en un residuo puede generar emisiones de óxidos de azufre, no obstante hay disponibilidad de dispositivos de control para su remoción desde los gases descargados por chimeneas.

El horno cementero es un horno rotatorio, consistente de una carcasa de acero revestida con material refractario usado para calcinar una mezcla de minerales que contienen magnesio,

calcio, silicio, aluminio y hierro. Residuos líquidos o sólidos combustibles pueden ser utilizados como combustible auxiliar. Las temperaturas al interior del horno generalmente están entre 1.380 y 1.540 °C.

### **5.2.2 Incineración**

La incineración es un sistema de tratamiento aplicable al tratamiento de residuos conteniendo variadas concentraciones de compuestos orgánicos y bajas concentraciones de agua, metales y otros compuestos inorgánicos. Los cuatro sistemas de incineración más comunes son la inyección líquida, horno rotatorio, lecho fluidizado y horno fijo.

La incineración mediante inyección líquida es aplicable a residuos que tienen la viscosidad lo suficientemente baja (menos de 160 [mm<sup>2</sup>/s]) de manera tal que puedan ser pulverizados en la cámara de combustión. Sin embargo, la viscosidad es dependiente de la temperatura así que aunque la inyección líquida pueda no ser aplicable a un residuo a temperatura ambiente, puede serlo si este es calentado. Además, el tamaño de partículas y la concentración de sólidos suspendidos deben ser lo suficientemente bajos para evitar la obstrucción de las aberturas del pulverizador.

El horno rotatorio, de lecho fijo y fluidizado son aplicables a residuos con gran variedad de viscosidad, tamaño de partícula y concentraciones de sólidos suspendidos.

#### **Inyección líquida**

En un sistema de inyección líquida, un quemador atomiza el residuo y lo inyecta en la cámara de combustión donde es incinerado en la presencia de aire u oxígeno. Un sistema de ventilación forzada provee la cámara de combustión con aire para suministrar el oxígeno para la combustión y la turbulencia para el mezclado. La cámara de combustión es generalmente un cilindro revestido con ladrillo refractario.

#### **Horno rotatorio**

Un horno rotatorio es un cilindro revestido con material refractario que rota lentamente y está montado en ángulo con respecto a la horizontal. Los residuos sólidos se alimentan por el extremo superior del horno, y los residuos líquidos o gaseosos generalmente se alimentan a través de los pulverizadores en la sección de quemado secundario del horno. Un sistema de ventilación forzada provee el horno con aire para suministrar el oxígeno para la combustión y la turbulencia para el mezclado. La rotación del horno favorece la exposición de los sólidos al calor, asistiendo en su volatilización y sirviendo de mezclado adicional de los sólidos con el aire de combustión. Además, la rotación causa que la ceniza se traslade hacia el extremo inferior del horno donde es removida. Los hornos rotatorios pueden tener una cámara de combustión secundaria para continuar la combustión de los constituyentes del residuo que se han volatilizado.

#### **Lecho fluidizado**

Un incinerador de lecho fluidizado consiste de una columna que contiene partículas inertes, tal como arena, denominado el lecho. Un soplador introduce aire por el fondo del lecho para fluidizar la arena. El paso del aire a través del lecho suministra el oxígeno para la combustión y promueve el mezclado rápido y uniforme del material inyectado dentro del lecho fluidizado. El lecho fluidizado tiene una capacidad térmica extremadamente alta (aproximadamente tres veces la de los gases de combustión a esa misma temperatura), siendo una reserva grande de calor. El residuo inyectado alcanza la temperatura de incineración rápidamente y transfiere el calor de combustión devuelta al lecho. La sección libre sobre el lecho fluidizado provee tiempo adicional para la combustión de constituyentes orgánicos. Debido a las excelentes propiedades de mezclado asociadas a los incineradores de lecho fluidizado estos pueden operar a temperaturas más bajas más eficientemente que otros incineradores.

### **Horno fijo**

La incineración en horno fijo es un proceso de combustión de dos etapas. El residuo es introducido a la primera etapa, o cámara primaria, y quemado en condiciones de insuficiencia de oxígeno para la combustión completa (menos oxígeno que la cantidad estequiométrica). El humo y productos de pirólisis resultantes, que consisten principalmente de hidrocarburos volátiles y monóxido de carbono, además de los productos de combustión típicos, pasan a la segunda cámara. Aire adicional es entonces inyectado para completar el proceso de combustión. Este proceso de dos etapas generalmente produce bajas emisiones de monóxido de carbono y de cenizas. Las velocidades de las reacciones de combustión de la cámara primaria y de los gases de combustión resultantes se mantienen en niveles bajos al mantener condiciones deficientes en aire, para minimizar el transporte de partículas en los gases de combustión

### **5.2.3 Depósito de Seguridad**

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 determinados por la Autoridad Sanitaria.

No obstante, no se permitirá la disposición final de residuos no peligrosos en relleno de seguridad y de los siguientes tipos de residuos peligrosos entre otros:

- (a) Residuos peligrosos que se encuentren en estado líquido o que evidencien la presencia de líquidos libres de acuerdo al ensayo "*Paint Liquid Filter Test*" de la U.S. EPA, incluidos los líquidos almacenados en contenedores, a menos que se dispongan de técnicas que permitan su fijación y/o solidificación.
- (b) Residuos líquidos inflamables.

- (c) Envases o recipientes vacíos a menos que hayan sido acondicionados para evitar futuros asentamientos.
- (d) Residuos que puedan afectar la resistencia o reaccionar químicamente con las barreras de impermeabilización de la instalación.

Es de particular importancia destacar que no obstante su flexibilidad, la solidificación/estabilización no es apropiada para todos los residuos. En términos generales es una alternativa de tratamiento para materiales que contienen compuestos inorgánicos y compuestos orgánicos semivolátiles y/o no volátiles. En Estados Unidos, se puede considerar tratar los residuos derivados de solventes por sistemas de estabilización/solidificación sólo en casos particulares (para su transporte, almacenamiento o durante el control de derrames); al respecto, el tratamiento mediante estabilización/solidificación no es considerado una BDAT (del inglés “*Best Demonstrated Available Technology*”) para tratar las borras de solvente (Means et al., 1995).

### 5.3 Emisiones Atmosféricas

Son cuatro las técnicas de control comúnmente usadas para el control de contaminantes gaseosos: absorción, adsorción, condensación e incineración (combustión). La selección del sistema de control depende del contaminante que debe ser removido, la eficiencia de remoción requerida, las características del contaminante y del flujo gaseoso, y de las características específicas de la instalación. Algunas generalidades pertinentes se enumeran a continuación (Buonicore, 1992):

- (a) A concentraciones bajas de contaminantes gaseosos (menos que 100 [mg/l]), la incineración (oxidación) puede generalmente conseguir una eficiencia entre 90 y 95%, siendo la oxidación térmica levemente más efectiva que la oxidación catalítica en el rango de concentraciones más bajas.
- (b) A concentraciones más elevadas de contaminantes gaseosos (superior a 100 [mg/l]), la incineración generalmente logra eficiencias de remoción en el rango 95–99%.
- (c) La incineración puede generar productos de combustión incompleta u otros subproductos que pueden necesitar de sistemas de control adicionales.
- (d) La adsorción con carbón puede con frecuencia lograr eficiencias de remoción superiores a 90% cuando las concentraciones de contaminantes gaseosos son superiores a unos pocos cientos de partes por millón. A concentraciones más elevadas (sobre 1.000 [mg/l]), las eficiencias pueden superar el 95%.
- (e) La adsorción se torna una alternativa menos adecuada si la mezcla de compuestos orgánicos recuperados no pueden ser retornados al proceso con tratamiento adicional mínimo. En tales casos, puede ser más conveniente desde la perspectiva económica el incinerar los compuestos orgánicos recuperados (que han sido significativamente concentrados por el proceso de adsorción).
- (f) La eficiencia de remoción por absorción es dependiente de la concentración en el afluente a la unidad. En general, a concentraciones en el afluente más bajas (inferior a

unos pocos cientos de partes por millón) los niveles de eficiencia serán algo superiores a 90%.

- (g) La absorción es una técnica de control que se torna menos adecuada si no se puede disponer de la purga del sistema dentro de las instalaciones.
- (h) La condensación necesita generalmente de concentraciones relativamente altas (superiores a unos pocos miles de partes por millón) para lograr eficiencias sobre 80%.
- (i) La condensación generalmente no puede satisfacer requerimientos de eficiencias de remoción elevados sin el uso de temperaturas muy bajas (por ejemplo, usando nitrógeno líquido) o de elevada presión.
- (j) Generalmente, sólo los sistemas de incineración y absorción son capaces de lograr eficiencias de remoción superiores al 99% de manera constante.

Con sistemas de limpieza acuosos, se necesita de suficiente ventilación para mantener un nivel aceptable de humedad en la zona de trabajo pero sistemas de control de emisiones no son típicamente requeridos (Callahan, 1995).

### **5.3.1 Oxidación Térmica**

Las unidades de oxidación térmica son las más comúnmente utilizadas en el control de emisiones atmosféricas (A.G.A., 1998). Básicamente consisten en un sistema que convierte las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) y de otros contaminantes peligrosos en agua y dióxido de carbono. En particular, el proceso destruye los COVs mediante el incremento de la temperatura de las emisiones hasta alcanzar su temperatura de oxidación, aproximadamente 800 °C, y manteniendo esta temperatura al menos por medio segundo. Estas unidades tienen una alta eficiencia de remoción, del orden del 99% (G.A.M., 1997). Los porcentajes de recuperación de calor pueden llegar hasta un 95%, lo que implica un bajo requerimiento de combustible adicional. Son recomendables para situaciones donde los volúmenes de aire son elevados (del orden de 4,7 [m<sup>3</sup>/s]) y las concentraciones de hidrocarburos son bajas (inferior a 1.000 [mg/l]). Los sistemas de oxidación térmica tienen asociados bajos costos operacionales, buena rentabilidad y prolongada vida útil.

### **5.3.2 Oxidación Catalítica**

Los sistemas de oxidación catalítica disponen de una cámara de combustión metálica aislada, equipada con un quemador con control de temperatura, y una sección catalítica. Las unidades actualmente comercializadas pueden operar satisfactoriamente con un amplio rango de COVs.

Bajo ciertas condiciones, un sistema catalítico con metales preciosos puede oxidar los COVs contenidos en las emisiones, a temperaturas significativamente más bajas que una

unidad de oxidación térmica, entre 300 y 550 °C, lo que redundaría en menores requerimientos energéticos. En este sistema la emisión contaminada es precalentada en un intercambiador de calor.

Los equipos de oxidación catalítica también pueden abatir los subproductos de la oxidación, como lo es el monóxido de carbono. Los sistemas de oxidación térmica emiten importantes concentraciones de monóxido de carbono, en tanto que algunos sistemas de oxidación catalítica pueden destruir hasta un 98% del monóxido contenido en las emisiones.

La desventaja inicial de un equipo de oxidación catalítica es la alta inversión inicial requerida; pero ésta puede ser compensada por los bajos costos operacionales.

En situaciones donde el volumen de aire es bajo (inferior a 2,4 [m<sup>3</sup>/s]) y la carga de COVs es alta, el sistema de oxidación catalítica es usualmente la mejor elección. En situaciones donde el volumen de aire es mayor, cualquiera de los sistemas (catalítico o térmico) es satisfactorio.

### **5.3.3 Absorción**

La absorción es una operación en la cual uno o más componentes de una mezcla gaseosa son transferidos en forma selectiva a un líquido no volátil. La absorción de un componente gaseoso por un líquido sólo ocurrirá si el líquido contiene menos concentración que la de saturación del compuesto gaseoso a extraer. De esta manera la diferencia entre la concentración real en el líquido y la de la concentración de equilibrio induce la fuerza de la absorción.

### **5.3.4 Condensación**

La condensación a temperaturas bajas puede ser factible cuando las concentraciones de COVs son altas y sólo un tipo de solvente está involucrado. En la mayoría de los casos el costo de refrigeración puede desbalancear los beneficios debido al gran volumen de aire que debe ser enfriado. En general para flujos de 3.000 [m<sup>3</sup>/h] y concentraciones de COVs de 5.000 [mg/l] o mayores, esta técnica puede ser considerada (Setia, 1996).

### **5.3.5 Adsorción**

La adsorción con carbón activado ha sido utilizada para la recuperación de solvente en fase vapor por varias décadas y ha probado ser una técnica relativamente simple, rentable y económica, para su recuperación y la prevención de la contaminación atmosférica.

La mayoría de los solventes industriales pueden ser recuperados con carbón activado (Nayak, 1999). La adsorción con carbón se utiliza cuando la condensación no es posible debido a la presencia de compuestos no-condensables (por ejemplo, tolueno).

La tecnología de regeneración de carbón más comúnmente usada es la de regeneración con vapor de agua. El vapor de agua, dada su elevada temperatura, des-adsorbe el solvente desde el carbón y lo conduce fuera de la zona de adsorción a un intercambiador de calor donde la mezcla es condensada y enfriada.

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

### 6.1 Recuperación de Solventes *On-site*

El costo de algunas unidades de destilación se presenta en la siguiente tabla. Debe recordarse que las capacidades de destilación indicadas son sólo valores nominales, porque en la práctica estas pueden variar dependiendo del punto de ebullición del solvente, su presión de vapor y porcentaje de sólidos, y los precios indicados son de referencia para unidades estándares.

Tabla 6.1: Precio de unidades de destilación para solventes

Capacidad de destilación [m <sup>3</sup> /d]	Costo (USD) <sup>15</sup>
0,06	4.990,00 (Ex-works Toledo, Ohio)
0,17	7.750,00 (Ex-works Toledo, Ohio)
0,68	15.750,00 (Ex-works Toledo, Ohio)
2,3	83.700,00 (FOB, Chicago)
4,5	100.500,00 (FOB, Chicago)
6,4	121.300,00 (FOB, Chicago)
10,4	179.000,00 (FOB, Chicago)
12,7	202.200,00 (FOB, Chicago)

Considerando el caso particular de un establecimiento que emplea 60 [l/d] de metil etil cetona, con un costo de \$346 (+IVA)<sup>16</sup> por litro, se presentan a continuación los costos asociados a las alternativas de disposición del solvente sucio (no se consideran los costos de operación y mantención):

**Alternativa 1:** *Contratación de servicios de recuperación de solvente (incluyendo disposición de borras como combustible alternativo) a un costo de USD. 1,00 por litro aproximadamente.*

<b>Costo anual por consumo de solvente (sin recuperación):</b>	<b>USD. 4.291,00</b>
Costo anual equivalente de solvente recuperado:	USD. 3.003,00
Costo anual recuperación y disposición:	USD. 4.940,00

<sup>15</sup> Información proporcionada por el Sr. Sergio Pera de Inkmaker (distribuidor autorizado de CB Mills para Sudamérica) y Sr. Frank Reynolds de Purastill.

<sup>16</sup> COPEC, Febrero 1999, Fono 6834839.

**Costo anual neto:** **USD. 6.228,00**

**Alternativa 2:** *Compra de unidad de destilación y disposición de borras como combustible alternativo a un costo de USD. 0,05 por litro aproximadamente.*

**Costo anual por consumo de solvente (sin recuperación):** **USD. 4.291,00**

**Inversión:** **USD. 4.999,00**

Costo anual equivalente de solvente recuperado: USD. 3.862,00

Costo anual disposición de borras: USD. 25,00

**Costo anual neto:** **USD. 454,00**

## 6.2 Control de Emisiones de COVs

En la tabla a continuación se entregan algunos costos de referencia asociados a los sistemas de control de COVs.

Tabla 6.2: Costos operacionales de sistemas de control de COVs (CIESIN, 1991)

Sistema de control	Costos operacionales [U.S.D./t COV removido]
Oxidación térmica sin regeneración y concentraciones <sup>17</sup> bajas	>575
Oxidación catalítica sin regeneración y concentraciones bajas	175–575
Adsorción con filtros de carbón activado y concentraciones bajas	>575
Oxidación térmica sin regeneración y concentraciones altas	175–575
Oxidación catalítica sin regeneración y concentraciones altas	175–575
Adsorción con filtros de carbón activado y concentraciones altas	175–575
Absorción con sistema de lavado de gases y concentraciones altas	175–575
Condensación con concentración alta	>175

<sup>17</sup> Rangos de concentración: Baja < 3 [g/m<sup>3</sup>]; Alta > [5 g/m<sup>3</sup>]

### 6.3 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.

## 7 SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Los dos riesgos principales asociados con los solventes son su toxicidad e inflamabilidad. La exposición a los solventes puede producir diversos efectos negativos para la salud, y estos efectos, además de producir enfermedades aumentan el riesgo de accidentes.

En la tabla a continuación se identifican algunos efectos en la salud de solventes de uso común.

Tabla 7.1: Efectos en la salud de solventes

Acetona	Irritante de nariz, garganta, pulmones y ojos. Puede producir dolor de cabeza, mareos, náuseas, cambios en el ciclo de reproducción de las mujeres.
Acetato de butilo	Irritante severo del sistema respiratorio, piel y ojos. Los síntomas incluyen dificultad al respirar, dermatitis y narcosis en concentraciones altas. Los efectos son severos si la persona expuesta presenta enfermedades preexistentes en el sistema respiratorio, ojos, piel, riñones o hígado.
Aguarrás	Irritante de ojos, nariz, garganta, sistema respiratorio y sistema nervioso. Puede producir dermatitis, dolores de cabeza, mareos y fatiga.
Alcoholes	Irritante de piel y sistema respiratorio. Su inhalación puede producir náuseas, vómitos, mareos y fatiga.
Benceno	Por inhalación produce mareos, fatiga, dolor de cabeza, temblores y confusión. La exposición prolongada produce enfermedades de la sangre, anemia, disfunción de la médula, cáncer, leucemia y cambios en el ciclo de reproducción de las mujeres.
Cloruro de metileno	Irritante de piel, ojos, membranas mucosas y sistema respiratorio. Puede causar mareos, dolor de cabeza, náuseas, deterioración de la coordinación muscular, dolor de pecho, angina y daños al sistema nervioso. Exposición prolongada puede producir cáncer.
Eteres de glicol	Irritantes de ojos y membranas mucosas. Daños al sistema nervioso. Son tóxicos para el sistema reproductor de hombres y mujeres. Aumentan el riesgo de abortos. Son teratógenos.
Etilbenceno	Irritante de ojos, piel y sistema respiratorio. Síntomas incluyen ampollas en la piel, dolor de la cabeza, fatiga, narcosis y disminución de la coordinación muscular.

Gasolina	Irritante de piel, ojos, nariz, garganta y pulmones. Puede producir daños hepáticos y renales. Puede producir mareos, dolor de cabeza. Inhalación de vapores con altas concentraciones puede causar la muerte.
Hexano	La exposición aguda produce irritación en ojos, piel, membranas mucosas y sistema respiratorio. Exposición crónica produce vértigo, narcosis, mareos, dolor de cabeza y daños neurológicos
Parafina	Por inhalación produce irritación en ojos, dolor de cabeza, mareos, deterioración de la concentración y coordinación física, náuseas, aumento de presión, pérdida de apetito. Inhalación crónica puede producir daños en los riñones y problemas de inhibición de la coagulación.
Metil etil cetona	Irritante de nariz, garganta, piel y ojos. En concentraciones altas, puede producir defectos en fetos y la muerte de personas.
n-Metilpirrolidona	Irritante de ojos y piel.
Percloroetileno	Irritante de piel. Exposición a concentraciones altas produce dolor de cabeza, mareos, fatiga, confusión, náuseas, dificultad hablar y caminar, impactos al sistema nervioso, daños a los riñones e hígado, alteraciones al sistema reproductivo de mujeres, cáncer y muerte.
Propilenglicol	Irritante de ojos.
Tricloroetileno	Por inhalación produce dolor de cabeza, mareos, deterioración de coordinación muscular, disminución en la concentración, daños a sistema respiratorio, nervios, riñones e hígado. Concentraciones altas pueden producir daños al corazón, coma y muerte.
Tolueno	Por inhalación produce mareos, fatiga, dolor de cabeza, confusión, pérdida de memoria, narcosis y deterioración habilidad sonora.
Varsol	Irritante de ojos y piel. Síntomas de exposición incluyen somnolencia, mareos, náuseas, vómitos, dolor de cabeza dificultad en visión. Personas con enfermedades a los ojos y sistema respiratorio pueden tener mayor sensibilidad a los efectos de toxicidad. Inhalación de vapores de altas concentraciones puede causar muerte.
Xileno	Exposición produce dolor de cabeza, irritación de ojos, piel, nariz y garganta, dificultad respiración, dolores estomacales, mareos, confusión y deterioración de coordinación muscular.

Además, debido a la inflamabilidad de los solventes, es importante tomar precauciones durante su almacenamiento, transporte y uso. Algunas medidas generales son:

- evitar fuentes de ignición (por ejemplo, chispas),
- mantener los contenedores cerrados,
- mantener los contenedores alejados de fuentes de calor, y
- mantener los contenedores alejados de otros compuestos que pueden reaccionar con los solventes tales como el cloro, oxidantes, ácidos, álcalis y nitratos.

## 7.1 Solventes Alternativos

Con el aumento de la legislación ambiental se ha desarrollado una presión creciente para inducir el desarrollo y fomento de la "producción limpia". Aunque este objetivo apoya la protección del medio ambiente mundial, no elimina toda la toxicidad o los riesgos en términos de salud ocupacional. Por ejemplo, las industrias están eliminando el uso de solventes que dañan la capa de ozono, y reemplazándolos con percloroetileno, tricloroetileno, y cloruro de metileno, que son más tóxicos en términos de salud ocupacional.

## 7.2 Protección de los Trabajadores

En términos generales, la protección de los trabajadores tiene cuatro componentes:

- identificación de los riesgos,
- capacitación, educación, y difusión de la información necesaria,
- provisión de los elementos de seguridad y protección personal, y
- instrucciones y procedimientos específicos para todas las tareas del trabajo. Estos cuatro componentes conforman el programa de seguridad ocupacional de la empresa. Este programa debe incorporar actividades preventivas tales como: **(a)** análisis de la presencia y concentración de contaminantes en el aire, **(b)** evaluación del funcionamiento del sistema de ventilación, **(c)** controles médicos previo al inicio de actividades y periódicos posteriores, **(d)** eliminación de los riesgos en la fuente de origen (por ejemplo, cambios en métodos de operación, sustitución de materias primas y uso de solventes alternativos), y **(e)** uso de equipos de protección personal.

Algunos elementos básicos de salud y seguridad ocupacional son:

- botiquín,
- manual de seguridad (con protocolos escritos),
- formularios para la anotación e investigación de los accidentes,

- hojas de seguridad,
- letrero con información de emergencia,
- uniforme, zapatos de seguridad y cascos,
- protección ocular,
- faja de protección para la espalda,
- guantes resistentes a los solventes,
- herramientas de uso común,
- contenedores etiquetados para la disposición y almacenaje de trapos sucios, y solventes y aceites usados,
- extintores (tipo ABC),
- máscara de protección respiratoria con filtro para vapores orgánicos,
- programa de mantenimiento de las máquinas, equipos y materiales, y
- elementos para controlar derrames (material absorbente, arena, pala, escobillas).

## 8 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

### 8.1 Normativas que Regulan la Localización de las Industrias

#### • D.S. N° 458/76

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

#### • D.S. N° 718/77

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

#### • D.S. N° 47/92

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

**• Resolución N° 20/94**

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

**8.2 Normativas que Regulan las Emisiones Atmosféricas**

**• D.F.L. N° 725/67**

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

**• D.S. N° 144/61**

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

**• D.S. N° 32/90**

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

**• D.S. N° 322/91**

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

**• D.S. N° 185/91**

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

**• D.S. N° 4/92**

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

**• D.S. N° 1.905/93**

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

**• D.S. N° 1.583/93**

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

**• D.S. N° 2.467/93**

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

**• D.S. N° 812/95**

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

• **D.S. N° 131/96**

Título : Declaración de Zona Latente y Saturada de la Región Metropolitana.

Repartición : Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Diario Oficial : 01/08/96

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

• **Resolución N° 1.215/78: artículos 3, 4 y 5**

Título : Normas Sanitarias Mínimas Destinadas a Prevenir y Controlar la Contaminación Atmosférica.

Repartición : Ministerio de Salud.

Diario Oficial : No publicada.

• **Resolución N° 15.027/94**

Título : Establece Procedimiento de Declaración de Emisiones para Fuentes Estacionarias que Indica.

Repartición : Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente.

Diario Oficial : 16/12/94

**Nota:** Actualmente, CONAMA se encuentra elaborando una norma de emisión para el contaminante arsénico, de acuerdo con el procedimiento de dictación de normas de la Ley N° 19.300.

• **D.S. N° 16/98**

Título : Establece Plan de Prevención y Descontaminación atmosférica para la Región Metropolitana.

Repartición : Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Diario Oficial : 06/06/98

### 8.3 Normativas que Regulan las Descargas Líquidas

#### • Ley N° 3.133/16

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

#### • D.F.L. N° 725/67

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

#### • D.F.L. N° 1/90

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

#### • D.S. N° 351/93

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

#### • Norma Técnica Provisoria/92

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

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

• **D.S. N°609/98<sup>18</sup>**

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

#### **8.4 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

---

<sup>18</sup> En revisión a la fecha de edición de este documento, aunque sólo en lo que se refiere a sus plazos de cumplimiento.

**• 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

### 8.5 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

### 8.6 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

## 8.7 Normas Referenciales del Instituto Nacional de Normalización

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

El cumplimiento de estas normas (norma, norma chilena y norma oficial) es de carácter voluntario y por lo tanto no son susceptibles de fiscalización. Sin embargo, estas normas pueden ser reconocidas por el Ministerio respectivo, como 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.

### 8.7.1 Normas Relativas al Agua

#### • Norma NCh 1.333/Of. 87

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

### 8.7.2 Normativas de Salud y Seguridad Ocupacional<sup>19</sup>

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

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

#### • Norma NCh 385/Of. 55 / D.S. 954

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

#### • Norma NCh 387/Of. 55 / D.S. 1.314

---

<sup>19</sup> La repartición y fecha corresponden al Decreto Supremo citado en cada norma, y por el cual se oficializó la respectiva Norma Chilena. Para conocer el contenido de cada Norma, dirigirse al INN.

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

**• Norma NCh 758/Of. 71 / Res. 110**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 9 PROCEDIMIENTOS 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.

## 9.1 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.

## 9.2 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.

### **9.3 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.

## 10 CONCLUSIONES

La naturaleza de los solventes y los usos a que en consecuencia son sometidos, hace improbable que su uso pueda ser evitado o totalmente eliminado. Sin embargo, mediante sustitución y mejorando las eficiencias del uso, se puede cambiar la naturaleza y cantidad de los residuos, como también mejorando la separación de los componentes de los residuos en su generación.

Puede considerarse que el evitar la generación de residuos incluye el modificar el proceso tal que el residuo generado sea menos peligroso y/o de menor potencial para dañar el ambiente. Luego, el evitar la generación de residuos puede comprender el sustituir un solvente por otro, mediante lo cual se evita el uso de un solvente peligroso o de difícil manejo.

En consecuencia han aparecido alternativas a los solventes tales como productos semi-acuosos, productos acuosos y en base a hidrocarburos. En general, los proveedores clasifican a sus productos en biodegradables, seguros, no-peligrosos y otros calificativos subjetivos, debiendo el industrial determinar la validez de estas afirmaciones, pues el reemplazar un problema por otro puede no ser la solución requerida.

Además, aunque hay solventes vírgenes que tienen puntos de inflamación superior a 60 °C, deben tomarse medidas para evitar que el solvente contaminado sea clasificado como peligroso. Un solvente con elevado punto de inflamación puede convertirse en un residuo peligroso si se contamina (mezcla) con cualquiera de los siguientes:

- (a) Tetracloroetileno, tricloroetileno, cloruro de metileno, 1,1,1-tricloroetano, tetracloruro de carbono, fluorocarbonos clorados, clorobenceno, 1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoroetano, 1,2-diclorobenceno, triclorofluorometano, cresoles, ácido cresílico y nitrobenzoceno (al contaminarse con cualquiera de éstos el solvente usado puede ser clasificado como residuo peligroso por su característica de toxicidad).
- (b) Xileno, acetona, acetato de etilo, etilbenceno, etil éter, metil isobutil cetona, n-butanol, ciclohexanona y metanol (el solvente usado puede ser clasificado como residuo peligroso por su característica de inflamabilidad).
- (c) Tolueno, metil etil cetona, disulfuro de carbono, isobutanol y piridina (el solvente usado puede ser clasificado como residuo peligroso por su características de inflamabilidad y toxicidad).
- (d) Cromo, cadmio, plomo, arsénico, bario, mercurio, plata y selenio (dependiendo de la concentración de metal pesado, el solvente usado puede ser clasificado como residuo peligroso por su característica de toxicidad).
- (e) Sustancias con bajo punto de inflamación (inferior a 60 °C) tales como nafta, aguarrás mineral, gasolina o kerosene (en cantidades suficientes, el punto de inflamación de la

mezcla puede disminuir lo suficiente para clasificar el solvente usado como residuo peligroso por su característica de inflamabilidad).

Al respecto, la condición de no-peligroso es de particular importancia desde la perspectiva de la responsabilidad del generador de un residuo peligroso que se extiende desde la generación hasta su adecuada disposición.

Ahora bien, desde el punto de vista ambiental el sistema más efectivo de manejo de solventes sucios es su no-generación, por lo que es importante que el generador busque en primer lugar alternativas de minimización previo a la investigación de las alternativas de reciclaje del mismo.

La recuperación de solventes puede realizarse dentro del mismo establecimiento generador o fuera del mismo. Aunque la primera alternativa simplifica la operación de manejo del residuo algunas veces no se puede optar por ella debido a que no es factible desde el punto de vista económico o simplemente porque no se produce un solvente de la calidad suficiente para ser reusado por el industrial. En estos casos una empresa recicladora de solventes puede ser la solución. Al respecto, debe considerarse que el reciclador y el transportista deben estar debidamente autorizados por el Servicio de Salud correspondiente y que el solvente usado es un residuo y debe declararse como tal.

No obstante, debe destacarse que algunos de los potenciales beneficios de la recuperación de solvente contaminado en el mismo lugar de generación son: (a) reducción del monto de residuos peligrosos generados y almacenados en el sitio de generación, (b) reducción en los requerimientos (regulatorios) de declaración como generador de residuos, (c) reducción de la cantidad de solvente virgen a ser comprado, y (d) reducción en la responsabilidad asociada al transporte y tratamiento externo de los solventes.

## 11 REFERENCIAS

American Gas Association (A.G.A.). 1998. Natural Gas Applications in Printing and Publishing. Gas Industry Online.

Asociación Chilena de Seguridad (ACHS). Prevención de Accidentes en el Trabajo: Recomendaciones Prácticas.

Buonicore, A.J., and Davis, W. (Ed.). 1992. Air Pollution Engineering Manual. Air & Waste Management Association. Van Nostrand Reinhold. New York.

Callahan, Michael S. 1995. Hazardous Solvent Source Reduction. McGraw-Hill, Inc.

Carter, Bob. 1998. Solvents-The Alternatives (Part 1 of 2). Waste Reduction Resource Center for the Southeast. Raleigh, North Carolina 27626-9569.

CENMA. 1998. Caracterización de Residuos Sólidos Industriales. Addendum Informe Final 1998. Santiago, Chile.

CONAMA. 1997. Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana. Santiago, Chile.

Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Refined Petroleum Solvents. NIOSH Criteria Documents, Publication N° 77-192. July 1977. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Center for Disease Control (CDC).

Department of Environment, Health and Natural Resources (DEHNR). 1995. Waste and Cost Reduction Techniques for Small Parts Cleaners. Waste Reduction Fact Sheet. North Carolina Division of Pollution Prevention and Environmental Assistance.

Consortium for International Earth Science Information Network (CIESIN). 1991. Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution Concerning the Control of Emissions of Volatile Organic Compounds or their Transboundary Fluxes.

Department of Toxic Substances Control (DTSC). 1994. Aqueous Alternatives To Solvent Cleaning. Environmental Protection Agency, State of California. Publication Number: 607.

Eckenfelder, W.W.; Ortíz, E.; Dos Santos, L. 1994. Control de Sustancias Tóxicas. En: Manual de Evaluación y Manejo de Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales. Organización Panamericana de la Salud-División de Salud y Ambiente. Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud, Lima. Perú.

EMEP/CORINAIR. 1996. First edition. Solvent and Other Product Use. In: Atmospheric Emission Inventory Guidebook. EMEP Task Force on Emission Inventories. European Environment Agency. Copenhagen.

Flack, Paul. Reclaim that Spent Solvent!. Industrial Finishing. November 1991.

Graphic Arts Monthly (G.A.M.). July 1997. Systems to Control VOCs: Web Printers Seeking to Comply with Strict Regulations have New Abatement Technologies to Consider. Graphic Arts Monthly Online–Sourcebook.

Health and Safety Guidelines. Engineering Data Sheet 4–16. Solvent Recovery Equipment, Ontario Department of Labour, Canada.

Higgins, T.E. 1995. Pollution Prevention Handbook. Lewis Publishers–CRC Press Inc.

Kokusai Kogyo Co., Ltd. 1996. Estudio del Plan Maestro Sobre Manejo de Residuos Sólidos Industriales en la Región Metropolitana de la República de Chile. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Santiago, Chile.

Means, J.L., Smith, L.A., Nehring, K.W., Brauning, S.E., Gavaskar, A.R., Sass, B.M., Wiles, C.C. and Mashni, C.I. 1995. The Application of Solidification/Stabilization to Waste Materials. Lewis Publishers–CRC Press, Inc. Boca Ratón.

Nayak, V., Medrano, S., Regia, G. and Fermin, J. 1999. Solvent Recovery. Air: Alternative Treatment. Environmental Technology.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 1977. Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Refined Petroleum Solvents. NIOSH Publication N° 77–192.

Office of Waste Reduction Services (OWRS). 1991. Fact Sheet: Considerations for Selecting a Distillation Unit for On–Site Solvent Recycling. Publication #9005A. Departments of Commerce and Natural Resources. State of Michigan.

Organic Solvent Neurotoxicity. CIB N°48. March 1987. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Center for Disease Control. Atlanta, Georgia.

Setia, Saket. 1996. VOC Emissions–Hazards and Techniques for their Control. Chemical Engineering World. Vol. XXXI, N°9. India.

Solvent Cleaning, September 1997. Emission Inventory Improvement Program. STAPPA–ALAPCO–EPA.

Technical Working Group of the Basel Convention. 1994. Technical Guidelines on Hazardous Waste from the Production and Use of Organic Solvents (Y6). Secretariat of the Basel Convention.

United States Environmental Protection Agency. 1986. Technical Resource Document: Treatment Technologies for Solvent Containing Wastes. Hazardous Waste Engineering Research Laboratory. Cincinnati, OH. EPA 600/2–86/095.

United States Environmental Protection Agency. 1986a. Best Demonstrated Available Technology (BDAT) Background Document for F001–F005 Spent Solvents. Volume 1. Office of Solid Waste. Washington. EPA 530–SW–86–056(a), PB87120267.

United States Environmental Protection Agency. 1986b. Best Demonstrated Available Technology (BDAT) Background Document for F001–F005 Spent Solvents. Volume 2. Office of Solid Waste. Washington. EPA 530–SW–86–056(b), PB87120275.

United States Environmental Protection Agency. 1989. Proposed Treatment Technology Background Document. Office of Solid Waste. Washington. EPA 530–SW–90–012B.

United States Environmental Protection Agency. 1989a. Preliminary Data Summary for the Solvent Recycling Industry. Office of Water Regulations and Standards, Office of Water. Washington, D.C. EPA 440/1–89/102.

United States Environmental Protection Agency. 1989b. Seminar Publication: Solvent Waste Reduction Alternatives. Center for Environmental Research Information. Cincinnati, OH. EPA 625/4–89/021.

United States Environmental Protection Agency. 1993. Onsite Solvent Recovery. Office of Research and Development. Washington, D.C. EPA 600/R–94/026.

United States Environmental Protection Agency. 1994. Guide to Cleaner Technologies: Alternatives to Chlorinated Solvents for Cleaning and Degreasing. Office of Research and Development. Washington, D.C. EPA 625/R–93/016.

United States Environmental Protection Agency. 1995. 5th Edition. Waste Solvent Reclamation. In: Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP–42), Volume 1, Stationary Point and Area Sources. Emission Factor and Inventory Group, Office Of Air Quality Planning And Standards.

United States Environmental Protection Agency. 1996. Aqueous and Semi–Aqueous Solvent Chemicals: Environmentally Preferable Choices. Office of Pollution Prevention and Toxics. EPA 743–B–96–001.

United States Environmental Protection Agency. 1997. Capsule Report: Sources and Air Emission Control Technologies at Waste Management Facilities. Office of Research and Development. Washington, D.C. EPA 625/R–97/002.

Washington State Department of Ecology (WSDE). 1995. A Guide for Choosing and Operating an On–Site Distillation Unit. Publication #94–31.

World Bank. 1997. Environmental Management Systems and ISO 14000. In: Pollution Prevention and Abatement Handbook. Part II. World Bank Group, United Nations Industrial Development Organization, United Nations Environment Programme, World Health Organization.

## ANEXO A. PROVEEDORES DE PRODUCTOS ALTERNATIVOS

El listado de proveedores de formulaciones comercializadas alternativas al uso de solventes entregado a continuación, no es de ninguna manera exhaustivo. Los nombres que aquí aparecen se presentan sólo a modo indicativo.

Tabla A.1: Proveedores de formulaciones comercializadas alternativas al uso de solventes

Empresa	Productos ( <i>Componentes</i> ) [Alternativo]
<b>Ecolink, Inc.</b> 1481 Rock Mtn. Blvd. Stone Mountain, GA 30083. Fono: 1-770-621-8240	<b>HyperSolve™ NPB</b> (Bromuro de <i>n</i> -propilo, óxido de 1,2-butileno, dimetoximetano, <i>t</i> -butanol) [1,1,1-Tricloroetano]
<b>Lord &amp; Partners Ltd.</b> R.R. 1 Rosseau. Ontario POC 1J0. Fono: 1-705-732-1390. Fax: 1-705-732-1390	<b>Brad G.P.S.™</b> (Micro emulsión terpeno alcohol) [Varsol]
<b>Carroll Company.</b> 2900 W. Kingsley Rd., Garland, TX 75401. Fono: 1-214-278-1304	<b>Blue Gold™ Industrial Cleaner</b> [Hidrocarburos clorados, fluorocarbonos]
<b>Micro Care Corporation.</b> 34 Ronzo Road, Bristol, CT 06010. Fono: 1-860-585-7912. Fax: 1-860-585-7378	<b>Axarel® 2200 Defluxer and Degreaser</b> <b>Bioact® EC7M</b>
<b>Enviro Tech International, Inc.</b> 2525 W LeMoyne Av, Melrose Park, IL 60160. Fono: 1-708-343-6641. Fax: 1-708-343-4633	<b>EnSolv™</b> [1,1,1-Tricloroetano, tricloroetileno, cloruro de metileno, HCFC-141b]

## ANEXO B. FUENTES DE INFORMACIÓN

Las siguientes son bases de datos con información relativa a la sustitución de solventes disponibles para su consulta a través de Internet:

- (a) SOLV-DB®. National Center for Manufacturing Sciences (NCMS).  
<http://solvdb.ncms.org/index.html>
- (b) Integrated Solvent Substitution Data System (ISSDS). Idaho National Engineering and Environmental Laboratory. <http://es.epa.gov/issds>
- (c) SAGE Solvent Alternatives. Research Triangle Institute. [http://clean.rti.org/solv\\_alt.htm](http://clean.rti.org/solv_alt.htm)
- (d) Solvent Handbook Database System (SHDS). Department of Defense (DOD) and Department of Energy Defense Program (DOE-DP). <http://wannabe.inel.gov/shds/>