



# **RESIDUOS SÓLIDOS**

# **INDUSTRIALES Y PELIGROSOS**

**(Diplomado en Manejo de Residuos Sólidos)**

**Alfredo Rihm Silva** ([jarihm@yahoo.com](mailto:jarihm@yahoo.com))

Universidad De Chile

Facultad De Ciencias Físicas y Matemáticas

Noviembre / Diciembre 2004

**DOCUMENTO PRINCIPAL**



## ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN: REPASO DEFINICIONES BÁSICAS.....	1
1.1	CLASIFICACIÓN POR ESTADO.....	1
1.2	CLASIFICACIÓN POR ORIGEN.....	2
1.2.1	RESIDUOS MUNICIPALES / URBANOS.....	2
1.2.2	RESIDUOS SÓLIDOS INDUSTRIALES .....	4
1.2.3	RESIDUOS HOSPITALARIOS.....	4
1.3	CLASIFICACIÓN POR TIPO DE MANEJO / RIESGO.....	6
1.3.1	RESIDUOS PELIGROSOS.....	6
1.3.2	RESIDUOS INERTES.....	7
1.3.3	RESIDUOS NO PELIGROSOS.....	8
2	SISTEMA DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	9
3	INTRODUCCION RESIDUOS PELIGROSOS.....	12
3.1	SITUACIÓN EN LATINOAMERICA.....	13
3.2	CICLO DE VIDA DE UN MATERIAL A RESIDUO PELIGROSO .....	18
3.3	DEFINICIONES BÁSICAS.....	19
3.4	DETERMINACIÓN DE MATERIALES PELIGROSOS.....	20
3.5	RESPONSABILIDAD.....	20
4	GENERALIDADES REGLAMENTO CHILE DE RESIDUOS PELIGROSOS.....	21

5	IDENTIFICACION RESIDUOS PELIGROSOS.....	22
5.1	CONCEPTO DE RIESGO.....	23
5.2	CLASES DE RESIDUOS PELIGROSOS.....	26
5.3	IDENTIFICACION DE RESIDUOS PELIGROSOS.....	29
5.4	SISTEMA DE LISTADO .....	30
5.4.1	EJEMPLO CHILE.....	30
5.5	SISTEMA ANALITICO.....	37
5.5.1	TOXICIDAD .....	37
5.5.2	INFLAMABILIDAD .....	44
5.5.3	CORROSIVIDAD .....	45
5.5.4	REACTIVIDAD.....	45
5.5.5	LIMITACIONES DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS.....	46
6	MUESTREO RESIDUOS.....	51
6.1	PLAN DE MUESTREO.....	51
6.2	TIPOS DE MUESTRAS .....	54
6.3	PUNTOS Y CANTIDAD DE MUESTREOS.....	55
6.4	EJEMPLOS DE SITUACIONES.....	57
6.5	SEGUIMIENTO DE RESIDUOS GENERADOS EN PROCESOS INDUSTRIALES .....	58
7	ALMACENAMIENTO DISPOSICIÓN TEMPORAL DE RESIDUOS PELIGROSOS.....	66
7.1	TIEMPO DE ALMACENAMIENTO.....	68
7.2	ETIQUETADO .....	69
7.3	CONTENEDORES.....	69
7.4	INCOMPATIBILIDADES DE RESIDUOS.....	70

7.5	CONSIDERACIONES DE CONTENCIÓN .....	77
7.6	DISEÑOS PATENTADOS.....	78
7.7	DISEÑO Y NORMAS DE OPERACIÓN BODEGA DE CONTENCIÓN.....	78
7.8	PLAN DE ACCIÓN CONTRA DERRAMES.....	83
8	TRANSPORTE RP .....	85
8.1	MANIFIESTO.....	88
8.2	EL CONVENIO DE BASILEA.....	3
9	TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS .....	5
9.1	TECNOLOGÍAS DE CONCENTRACIÓN.....	7
	9.1.1 PRECIPITACIÓN (TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO) .....	8
9.2	TÉCNICAS DE DESINTOXICACIÓN.....	8
	9.2.1 NEUTRALIZACIÓN (TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO).....	11
	9.2.2 OXIDACIÓN Y REDUCCIÓN (TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO).....	11
	9.2.3 TRATAMIENTOS DE BIODEGRADACIÓN, TRATAMIENTO BIOLÓGICO Y DISPOSICIÓN EN TIERRA (QUÍMICO-BIOLÓGICO).....	12
9.3	TÉCNICAS S/S.....	13
	9.3.1 APLICABILIDAD .....	14
	9.3.2 TECNOLOGIAS.....	15
	9.3.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE RESIDUOS S/S.....	17
	9.3.4 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE RESIDUOS S/S.....	19
	9.3.5 QUIMICA DE LOS RESIDUOS TRATADOS CON S/S CEMENTO.....	22
	9.3.6 FACTORES FÍSICOS RELACIONADOS CON SOLIDIFICACIÓN .....	25
	9.3.7 FACTORES QUÍMICOS RELACIONADOS CON SOLIDIFICACIÓN.....	25
	9.3.8 SISTEMA RESIDUO/CEMENTO/LIXIVIADO .....	28
	9.3.9 PROCESO DE LIXIVIACIÓN.....	28
9.4	SEGUIMIENTO.....	30

10	DISPOSICIÓN FINAL RP .....	32
10.1	EJEMPLO: CELDA IMPERMEABLE DE SEGURIDAD PARA RESIDUOS PELIGROSOS – LASALLE, QUEBEC .....	32
10.2	MATERIALES PARA REVESTIMIENTOS.....	37
10.3	CLAUSURA Y REMEDIACION .....	40
11	MINIMIZACION DE RESIDUOS PELIGROSOS.....	42
11.1	BENEFICIOS DE LA MINIMIZACIÓN.....	43

## 1 INTRODUCCIÓN: REPASO DEFINICIONES BÁSICAS

Residuo: material que no representa una utilidad o no tiene un valor económico para el dueño.

El dueño se convierte por ende en generador del residuo.

Desde el punto de vista legislativo lo más complicado respecto a la gestión del mismo es que se trata intrínsecamente de un término "subjetivo", que depende del punto de vista de los actores involucrados (esencialmente generador y fiscalizador).

El residuo se puede clasificar de varias formas, tanto por estado, origen o características.

### 1.1 CLASIFICACIÓN POR ESTADO

Un residuo es definido por estado según el estado físico en que se encuentre. Existe por lo tanto tres tipos de residuos desde este punto de vista:



residuos sólidos



residuos líquidos



emisiones atmosféricas

Es importante notar que el alcance real de esta clasificación puede fijarse en términos puramente descriptivos o, como es realizado en la práctica, según la forma de manejo

asociado: por ejemplo un tambor con aceite usado que es considerado residuo, es intrínsecamente un líquido pero su manejo va a ser como un sólido pues es transportado en camiones y no por un sistema de conducción hidráulica.

En general un residuo también puede ser caracterizado por sus características de composición y generación.

## **1.2 CLASIFICACIÓN POR ORIGEN**

Se puede definir el residuo por la actividad que lo origine; esencialmente es una clasificación sectorial.

Esta definición no tiene en la práctica límites en cuanto al nivel de detalle en que se puede llegar en ella. Los tipos más importantes son:

residuos municipales (domiciliarios, comerciales)

residuos industriales (residuos de la construcción, mineros, agrícolas, etc.)

residuos hospitalarios

### **1.2.1 RESIDUOS MUNICIPALES / URBANOS**

La generación de residuos municipales varía en función de factores culturales asociados a los niveles de ingreso, hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y estándares de calidad de vida de la población. El creciente desarrollo de la economía chilena ha traído consigo un considerable aumento en la generación de estos residuos. En la década de los 60, la generación de residuos domiciliarios alcanzaba los 0,2 a 0,5 kg/habitante/día; hoy en día esta cifra se sitúa entre los 0,8 y 1,4 kg/habitante/día.

Los sectores de más altos ingresos generan mayores volumen per capita de residuos, y a su vez, estos residuos tiene un mayor valor incorporado que los provenientes de los sectores más pobres de la población.



Son los generados por cualquier actividad en los centros urbanos o en sus zonas de influencia. Esto implica que son algo más que los residuos generados a nivel domésticos, ya que han de contemplar el conjunto de otras actividades generadoras de residuos en la ciudad y alrededores. Incluye residuos tales como:

Domiciliarios

Comerciales y de Servicios

Hospitalarios asimilables a urbanos

De aseo de calles y sitios de recreación

Abandono de animales muertos, muebles, enseres y vehículos

Industriales, agrícolas, de construcción y obras menores de reparación domiciliarias.

### 1.2.2 RESIDUOS SÓLIDOS INDUSTRIALES

La cantidad de residuos que genera una industria es función de la tecnología del proceso productivo, calidad de las materias o productos intermedios, propiedades físicas y químicas de las materias auxiliares empleados, combustibles utilizados y de los envases y embalajes del proceso es la que determina las variables siguientes, o por el contrario, la elección de la tecnología esta determinada por la disponibilidad, a costos rentables, de determinadas materias primas, energía o materias auxiliares.



### 1.2.3 RESIDUOS HOSPITALARIOS

Actualmente el manejo de los residuos hospitalarios no es el más apropiado al no existir un reglamento claro al respecto. El manejo de estos residuos es realizado a nivel de generador y no bajo un sistema centralizado. A nivel de hospital los residuos son generalmente esterilizados.

La composición de los residuos hospitalarios varía desde residuos tipo residencial y comercial a médicos conteniendo peligrosos.



El California Integrated Waste Management Board (CIWMB, Estados Unidos) define a los residuos médicos como aquellos que satisfacen las dos siguientes condiciones:

el residuo está compuesto por residuos resultantes de cualquiera de las siguientes actividades:

tratamiento, diagnóstico o inmunización de humanos o animales

investigación relacionada con las actividades anteriores

la producción o uso de preparaciones médicas hechas a partir de organismos vivos y sus productos

el residuo es cualquiera de los siguientes

un residuo biopeligroso ("biohazardous")

residuo cortante

### 1.3 CLASIFICACIÓN POR TIPO DE MANEJO / RIESGO

Se puede clasificar un residuo por presentar alguna característica asociada al tipo de manejo que debe ser realizado.

Desde este punto de vista se pueden definir tres grandes grupos:

residuos no peligrosos

residuos peligrosos

residuos inertes



residuos peligrosos



residuos no peligrosos



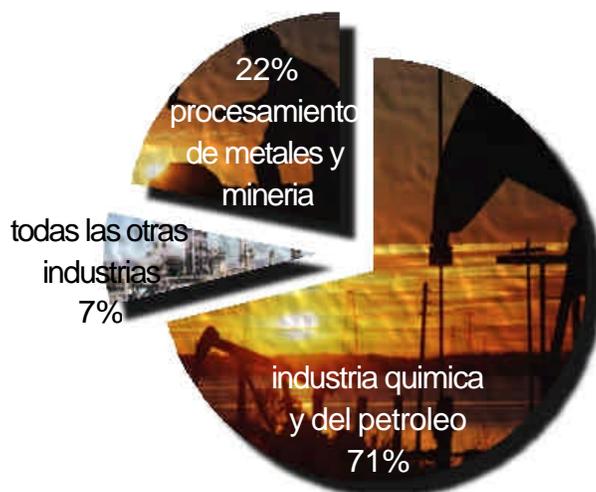
residuos inertes

El límite entre ellos es una decisión técnica, ambiental y política.

#### 1.3.1 RESIDUOS PELIGROSOS

Son residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar muerte o enfermedad; o son peligrosos para la salud o el medio ambiente cuando son manejados en forma no apropiada.

Se trata de materiales peligrosos que han sido utilizados, derramados o ya no son necesarios. Ejemplos son explosivos viejos y residuos producidos de procesos químicos.



Generación de residuos peligrosos de acuerdo al tipo de industria en Estados Unidos

### 1.3.2 RESIDUOS INERTES

Residuo estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en un medio ambiente.



Los residuos de la construcción no son necesariamente inertes

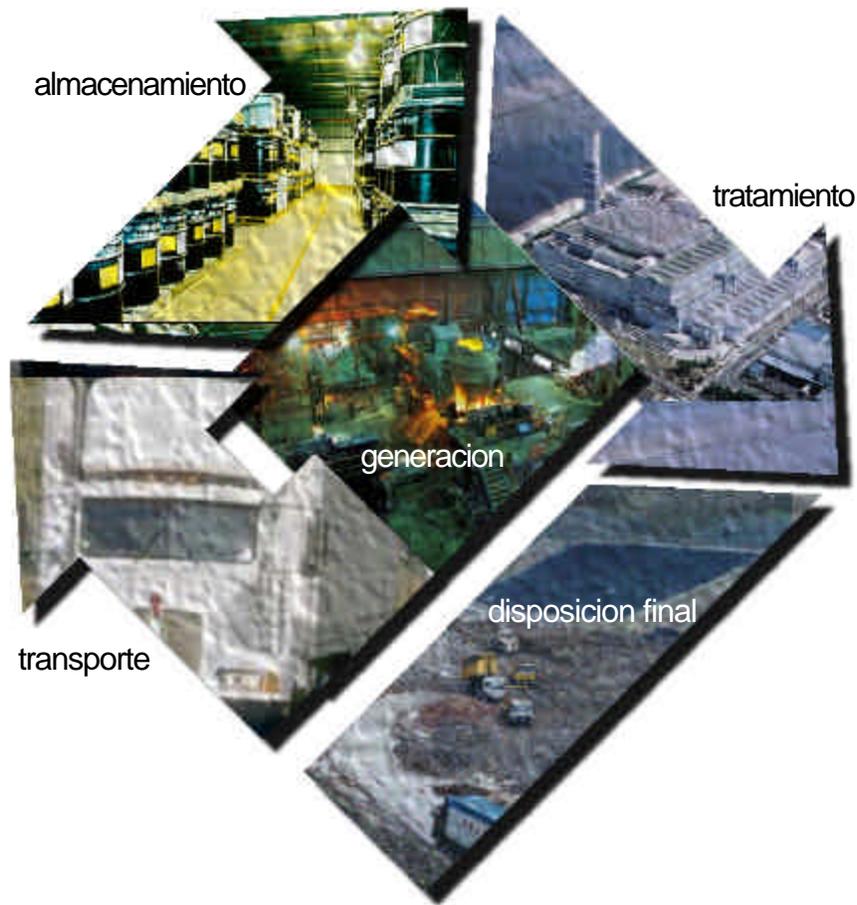
### 1.3.3 RESIDUOS NO PELIGROSOS

Ninguno de los anteriores.\_Un sistema de gestión de manejo de residuos incluye de alguna otra forma los tres tipos de definiciones anteriormente mencionados.



## 2 SISTEMA DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

**Concepto de manejo:** El conjunto de procedimientos y políticas que conforman el sistema de manejo de los residuos sólidos. La meta es realizar una gestión que sea ambiental y económicamente adecuada. Para los generadores industriales el esquema del sistema de manejo queda dado por la siguiente figura:



**Generación:** En esta etapa la principal meta es evitar al máximo la generación de residuos, para así atenuar la cantidad de recursos que se utilizarán, atenuando a su vez el impacto ambiental asociado al manejo de los residuos

**Almacenamiento:** Consiste en disponer temporalmente los residuos en receptáculos en contenedores, para evitar su derrame y efecto negativo sobre la salud y el medio ambiente. Los principales inconvenientes sanitarios derivados de una acumulación inadecuada de residuos se relacionan con la atracción y creación de hábitat adecuados para la sobrevivencia de moscas, cucarachas y roedores.



**Recolección y Transporte:** Es el que lleva el residuo. El transportista puede transformarse en un generador si el vehículo que transporta derrama su carga.

El personal de recolección enfrenta riesgos de la manipulación y de accidentes por atropellamiento en la vía pública. Diversos investigadores en varios países consideran que estas labores están entre las de más alto riesgo respecto de la ocurrencia de accidentes.



**Tratamiento:** Etapa de disminución de masa y/o mejora de calidad de los residuos.



**Disposición Final:** Es la etapa final en la gestión de los residuos sólidos en la cual estos son depositados en un sistema que asegure que su interacción con el medio ambiente no estará asociada a un riesgo relevante.

### 3 INTRODUCCION RESIDUOS PELIGROSOS

Debido al desarrollo de la actividad industrial durante el siglo veinte se ha originado la problemática de materiales y residuos peligrosos. Los últimos deben ser manejados dentro de un sistema de regulación apropiado que garantice un control efectivo de los mismos, llegándose a elaborar conceptos tales como de la cuna a la tumba que involucran un control de dichos materiales durante todo el sistema de manejo.

**Material Peligroso:** Son compuestos químicos que pueden provocar un riesgo no razonable a la salud, propiedad o medio ambiente, tanto cuando se les almacena, usa o transporta en el comercio. Se trata de sustancias que tienen o van a tener algún uso funcional. Algunos ejemplos son gases, fertilizantes, combustibles, ácidos, solventes y productos de limpieza.

**Residuo Peligroso:** Una de las definiciones más universalmente aceptadas para residuo peligroso es la dada bajo la *Resource Conservation and Recovery Act (RCRA)* de US, dicha definición incluye residuos individuales o combinación de residuos, tales *que debido a sus características físicas, químicas o infecciosas pueden (1) causar o contribuir significativamente a un incremento en la mortalidad, o a un incremento en enfermedades irreversibles y/o de efectos graves; o (2) poseer un peligro presente o potencial a la salud humana o del medio ambiente cuando sea tratada, almacenada, transporta o dispuesta en forma no apropiada.*

### **3.1 SITUACIÓN EN LATINOAMERICA**

No existe coherencia entre las disposiciones jurídicas referidas a los residuos sólidos municipales, especiales y peligrosos y los riesgos que representan para la salud pública y el ambiente. La legislación es incompleta y ambigua respecto al ámbito de competencia de las instancias administrativas involucradas y es incompatible con las situaciones económicas, sociales y culturales imperantes, además hay abuso en la expedición y empleo de disposiciones complementarias y administrativas. La mayoría de los países no contempla los múltiples compromisos internacionales asumidos por el Gobierno, y si los contempla, no se aplican a su realidad.

Generalmente se mezclan con los residuos sólidos municipales. Las principales causas de este problemas son la falta de control de las autoridades debido a la carencia de recursos humanos, físicos y financieros; la no aplicación de sanciones a los infractores, los favores políticos, privilegios, y la corrupción.

Las políticas para reducir la generación de residuos municipales, especiales y peligrosos aun no han dado resultados; y la reducción de la peligrosidad de los residuos en la fuente mediante procesos productivos más limpios, es aun incipiente. Para lograr un desarrollo sostenible, se requiere incrementar la recuperación, reuso y reciclaje, campo en el cual hay algún avance en la Región.

En Chile el cuerpo legal que refiere a reglamentos específicos para el manejo de residuos peligrosos es pobre. Sin embargo, a partir del año 2005, entra en vigencia el Decreto 148, del Ministerio de Salud, que se trata del primer Reglamento sobre Manejo Sanitario de Residuos Peligrosos. Un aspecto central de este tipo de reglamentos es la definición precisa de residuo peligroso. En el artículo 11 menciona: "Un residuo o una mezcla de residuos es peligrosa si presenta riesgo para la salud pública y/o efectos

adversos al medio ambiente ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto, como consecuencia de presentar alguna de las características: *toxicidad aguda, toxicidad crónica, toxicidad extrínseca, inflamabilidad, reactividad y corrosividad puede presentar riesgo para la salud pública, provocando o contribuyendo al aumento de la mortalidad o a la incidencia de enfermedades y/o presentar efectos adversos al medio ambiente cuando es manejado o dispuesto en forma inadecuada*". Es importante notar que la definición anterior, aunque muy clara en los alcances de lo que debe ser entendido como un residuo peligroso, por su misma extensión da lugar a una serie de interpretaciones diferentes acerca de la manera de definir en una forma práctica lo que es residuo peligroso. Dicho problema no es exclusivo de este reglamento y puede ser consignado como uno de los aspectos más controversiales del manejo de residuos peligrosos: *el saber cuándo se esta en presencia o no de un residuo peligroso*.

El Decreto Supremo n°594/2000 (ex N°745/1993) del Ministerio de Salud, establece las condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo, y en su Título II, párrafo III, trata sobre la disposición de residuos industriales líquidos y sólidos.

- No podrán vaciarse a la red pública de desagües de aguas servidas sustancias radiactivas, corrosivas, venenosas, infecciosas, explosivas o inflamables o que tengan carácter peligroso en conformidad a la legislación y reglamentación vigente. La descarga de contaminantes al sistema de alcantarillado se ceñirá a lo dispuesto en la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente y las normas de emisión y demás normativa complementaria de ésta (Artículo 16°).



- En ningún caso podrán incorporarse a las napas de agua subterránea de los subsuelos o arrojarse en los canales de regadío, acueductos, ríos, esteros, quebradas, lagos, lagunas, embalses o en masas o en cursos de agua en general, los relaves industriales o mineros o las aguas contaminadas con productos tóxicos de cualquier naturaleza, sin ser previamente sometidos a los tratamientos de neutralización o depuración que prescriba en cada caso la autoridad sanitaria (Artículo 17º).
- La acumulación, tratamiento y disposición final de residuos industriales dentro del predio industrial, local o lugar de trabajo, deberá contar con la autorización sanitaria. Para los efectos del presente reglamento se entenderá por residuo industrial todo aquel residuo sólido o líquido, o combinaciones de éstos, provenientes de los procesos industriales y que por sus características físicas, químicas o microbiológicas no puedan asimilarse a los residuos domésticos. (Artículo 18º).



- Las empresas que realicen el tratamiento o disposición final de sus residuos industriales fuera del predio, sea directamente o a través de la contratación de terceros, deberán contar con autorización sanitaria, previo al inicio de tales actividades. Para obtener dicha autorización, la empresa que produce los residuos industriales deberá presentar los antecedentes que acrediten que tanto el transporte, el tratamiento, como la disposición final es realizada por personas o empresas debidamente autorizadas por el Servicio de Salud correspondiente (Artículo 19º).
- En todos los casos, sea que el tratamiento y/o disposición final de los residuos industriales se realice fuera o dentro del predio industrial, la empresa, previo al inicio de tales actividades, deberá presentar a la autoridad sanitaria una declaración en que conste la cantidad y calidad de los residuos industriales que genere, diferenciando claramente los residuos industriales peligrosos. Para los efectos del presente reglamento se entenderá por residuos peligrosos los señalados a continuación, sin perjuicio de otros que pueda calificar como tal la autoridad sanitaria (artículo 20):

Antimonio, compuestos de antimonio	Fenoles, compuestos fenólicos, con inclusión de clorofenoles
Arsénico, compuestos de arsénico	Medicamentos y productos farmacéuticos
Asbesto (polvo y fibras)	Mercurio, compuestos de mercurio
Berilio, compuestos de berilio	Metales carbonilos
Bifenilos polibromados	Nitratos y nitritos
Bifenilos policlorados	Plomo, compuestos de plomo
Cadmio, compuestos de cadmio	Productos químicos para el tratamiento de la madera
Cianuros inorgánicos	Selenio, compuestos de selenio
Cianuros orgánicos	Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida
Compuestos de cobre	Soluciones básicas o bases en forma sólida
Compuestos de cromo hexavalente	Solventes orgánicos
Compuestos de zinc	Sustancias corrosivas
Compuestos inorgánicos de flúor, con exclusión del fluoruro cálcico	Sustancias explosivas
Compuestos orgánicos de fósforo	Sustancias infecciosas
Dibenzoparadioxinas policloradas	Sustancias inflamables
Dibenzofuranos policlorados	Talio, compuestos de talio
Desechos clínicos	Telurio, compuestos de telurio
Eteres	

### 3.2 CICLO DE VIDA DE UN MATERIAL A RESIDUO PELIGROSO

La siguiente figura presenta el ciclo de vida de un material peligroso a residuo peligroso. Se presenta la evolución desde un material en su concepción hasta incluso después de su vida como residuo. Con esta figura es posible entender la interacción de los sub sistemas componentes del sistema de manejo de los residuos peligrosos.



### 3.3 DEFINICIONES BÁSICAS

Es importante distinguir entre una sustancia o material peligroso y un residuo peligroso. A continuación se resumen algunas definiciones importantes.

**Material peligroso** Compuestos químicos que pueden provocar un riesgo no razonable a la salud, propiedad o medio ambiente, tanto cuando se les almacena, usa o transporta en el comercio. Se trata de sustancias que tienen o van a tener algún uso funcional. Algunos ejemplos son gases, fertilizantes, combustibles, ácidos, solventes y productos de limpieza.

**Residuo peligroso** Residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar muerte, enfermedad; o que son peligrosos para la salud o el medio ambiente cuando son manejados en forma no apropiada. Se trata de materiales peligrosos que han sido utilizados, derramados o ya no son necesarios. Ejemplos son explosivos viejos y residuos producidos de procesos químicos. Una de las definiciones más universalmente aceptadas para residuo peligroso es la dada bajo la Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) de Estados Unidos, dicha definición incluye residuos individuales o combinación de residuos, tales que debido a sus características físicas, químicas o infecciosas pueden causar o contribuir significativamente a un incremento en la mortalidad, o a un incremento en enfermedades irreversibles y/o de efectos graves; o poseer un peligro presente o potencial a la salud humana o del medio ambiente cuando sea tratada, almacenada, transporta o dispuesta en forma no apropiada.

### **3.4 DETERMINACIÓN DE MATERIALES PELIGROSOS**

Para realizar la determinación de un material peligroso el productor o manufacturador puede utilizar listas de chequeo, realizar test analíticos, revisar la literatura (información epidemiológica) o simplemente asumir que su componente es peligroso. Lo inverso, con respecto a lo último no es posible. No se puede asumir que el material no es peligroso.

### **3.5 RESPONSABILIDAD**

En la mayoría de los sistemas legales vigentes la responsabilidad de definir si se esta en presencia de un *material peligroso* recae en su *productor*, y si se esta en presencia de un *residuo peligroso* recae en el *generador*. La responsabilidad sobre el manejo es del último.

#### **4 GENERALIDADES REGLAMENTO CHILE DE RESIDUOS PELIGROSOS**

VER ANEXO 2

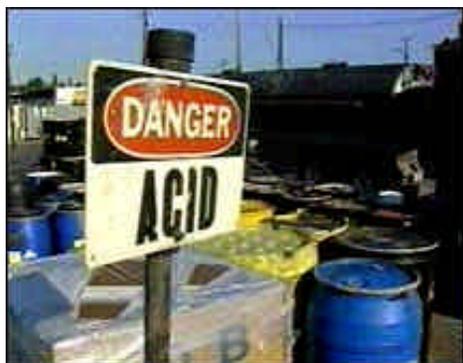
## 5 IDENTIFICACION RESIDUOS PELIGROSOS

Se puede clasificar un residuo por presentar alguna característica asociada al tipo de manejo que debe ser realizado:

Desde este punto de vista se pueden definir tres grandes grupos:

- Residuos no peligrosos
- Residuos peligrosos
- Residuos Inertes

Peligrosos



No Peligrosos

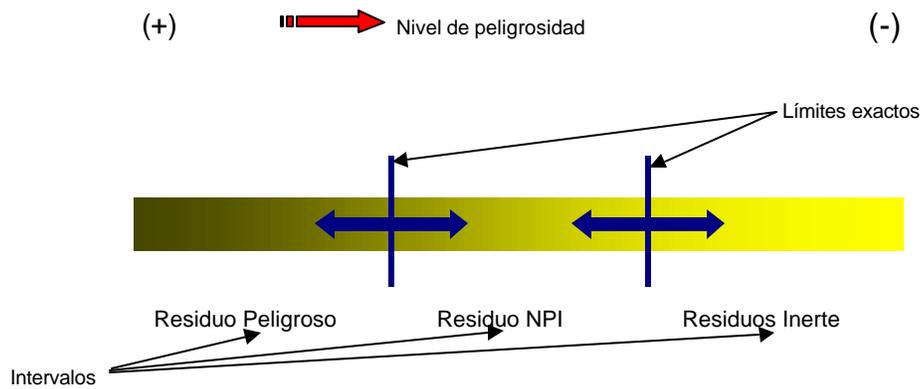


Inertes



## 5.1 CONCEPTO DE RIESGO

El riesgo potencial ambiental de un residuo en el medio ambiente queda determinado por los procesos bióticos y la toxicidad de sus productos de degradación, en combinación de las rutas de contaminación. La liberación de sustancias peligrosas de sitios contaminados abandonados causa impactos en la salud humana y el ecosistema.



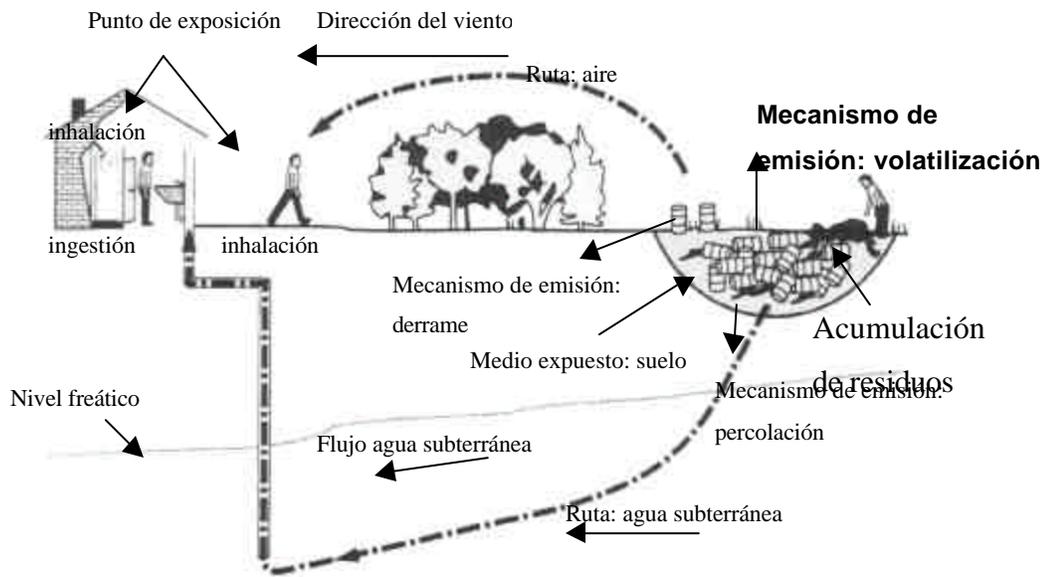
Esquema de distribución de residuos por peligro y tipo de manejo asociado

Características de los residuos y materiales que contiene el sitio

Estudio de las poblaciones o variables medio ambientales que se verán afectado por la transmisión de la contaminación

# *Peligro ⇒ Ruta ⇒ Receptor*

Análisis de las rutas de contaminación.



Ejemplo de rutas de contaminación asociadas a un sitio contaminado (La Greca, 1994)

Los residuos peligrosos pueden venir casi en cualquier forma, haciendo dificultosa la determinación. Es posible encontrarlos en formas de líquido, semisólido, sólido, o lodos. Pueden haber una serie de consideraciones prácticas que pueden ayudar a la determinación de la condición de peligrosidad. Como generadores podríamos preguntarnos, por ejemplo, si las plantas de tratamiento convencional, o los rellenos convencionales aceptan o no nuestro residuo; o podríamos preguntarnos si nuestro residuo se encuentra presenta en algún listado prioritario. Desgraciadamente esta situación no es siempre posible.

Existen dos aproximaciones en la definición de residuo peligroso: por listados de residuos peligrosos específicos, y por identificación de características de peligrosidad.

El sistema de listado exhibe listados de sustancias específicas o procesos específicos. Con respecto a las características, se identifican cuatro para residuos peligrosos: toxicidad, corrosividad, reactividad e inflamabilidad. Para cada uno de ellas existen ensayos de laboratorios adoptados, los cuales están basados en la normativa de Estados Unidos<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Test Methods for Evaluating Solid Wastes. Publication No. SW-846

## 5.2 CLASES DE RESIDUOS PELIGROSOS

Las diferencias metodológicas y metodológicas en los diferentes sistemas tanto a nivel local como internacional sobre la definición de residuos peligrosos hace que existan varias clases y o tipos de clasificación para residuos peligrosos. A continuación se presentan algunos ejemplos relevantes:

**Estados Unidos:** Se menciona el punto de vista de US EPA (Agencia Ambiental de Estados Unidos), sin embargo a nivel local existen otras clases:

Tabla: Principales definiciones de materiales peligrosos (aplicable a residuos)

Institución	Definición
DOT / Estándares Naciones Unidas / IMCO Hazard Classes. Se utiliza en rótulos, placas de identificación y sistemas de manifiesto para el transporte de materiales y residuos peligrosos.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Explosivos</li> <li>2. Gases - inflamables, no inflamables, gases venenosos</li> <li>3. Inflamables y líquidos combustibles</li> <li>4. Sólidos inflamables (combustibles en forma espontánea y peligrosos cuando están húmedos)</li> <li>5. Oxidantes y peróxidos orgánicos</li> <li>6. Venenos</li> <li>7. Sustancias radioactivos</li> <li>8. Materiales corrosivos</li> <li>9. Materiales peligrosos de carácter misceláneo</li> </ol>
CAL EPA, clases de peligrosidad. Utilizados en identificación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inflamabilidad</li> <li>2. Toxicidad</li> <li>3. Corrosividad</li> <li>4. Reactividad</li> <li>5. Peligrosidad extrema</li> </ol>
US EPA	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inflamabilidad</li> <li>2. Toxicidad (aguda, crónica, lixiviación)</li> <li>3. Corrosividad</li> <li>4. Reactividad</li> </ol>

<b>Institución</b>	<b>Definición</b>
OSHA, clases de peligrosidad	<p data-bbox="760 317 1122 348">Peligrosidad de carácter físico:</p> <ol data-bbox="760 359 1045 842" style="list-style-type: none"><li data-bbox="760 359 1045 390">1. Líquido combustible</li><li data-bbox="760 401 1003 432">2. Gas comprimido</li><li data-bbox="760 443 935 474">3. Explosivos</li><li data-bbox="760 485 1027 516">4. Peróxido orgánico</li><li data-bbox="760 527 935 558">5. Pyrophoric</li><li data-bbox="760 569 1027 600">6. Inestable / reactivo</li><li data-bbox="760 611 1003 642">7. Residuo reactivo</li><li data-bbox="760 653 1027 684">8. Aerosol inflamable</li><li data-bbox="760 695 987 726">9. Gas inflamable</li><li data-bbox="760 737 1027 768">10. Líquido inflamable</li><li data-bbox="760 779 1027 810">11. Sólidos inflamable</li><li data-bbox="760 821 919 852">12. Oxidante</li></ol> <p data-bbox="760 852 1068 884">Peligrosidad para la salud</p> <ol data-bbox="760 894 1166 1417" style="list-style-type: none"><li data-bbox="760 894 954 926">1. cancerígeno</li><li data-bbox="760 936 922 968">2. Corrosivo</li><li data-bbox="760 978 1008 1010">3. Altamente tóxico</li><li data-bbox="760 1020 902 1052">4. Irritante</li><li data-bbox="760 1062 889 1094">5. Tóxico</li><li data-bbox="760 1104 943 1136">6. Hepatoxina</li><li data-bbox="760 1146 938 1178">7. Nefotoxina</li><li data-bbox="760 1188 954 1220">8. Neurotoxina</li><li data-bbox="760 1230 1024 1262">9. Tóxico a la sangre</li><li data-bbox="760 1272 1003 1304">10. Tóxico al hígado</li><li data-bbox="760 1314 1166 1346">11. Tóxico al sistema reproductivo</li><li data-bbox="760 1356 997 1388">12. Peligro cutáneo</li><li data-bbox="760 1398 1008 1430">13. Peligro a los ojos</li></ol>

**BRASIL:** La asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT) clasifica a los residuos en tres tipos: Peligrosos (*clase I*), No Inertes (*clase II*), Inertes<sup>2</sup> (*clase III*). Según esta clasificación los residuos peligrosos serán caracterizados por características de inflamabilidad, corrosividad, reactividad, toxicidad o toxicidad. Al igual que en el sistema de la US EPA y en reglamento nacional, la caracterización por toxicidad se realiza por ensayos de lixiviación<sup>3</sup> y por listados de sustancias tóxicas, además por bioensayo de DL<sub>50</sub><sup>4</sup>. Básicamente estos procedimientos y listados se encuentran basados en lo escrito en el reglamento de la US EPA en su versión de 1980. Específicamente para el test de lixiviación el listado se compone de 29 contaminantes, con valores basados las guías entregadas por la OMS en 1984 para agua potable.

**JAPON:** Se define residuo peligroso sólo según la característica de toxicidad. Para su evaluación también existe un test de lixiviación, el JIS EP. Este es bastante simple y probablemente uno de los más antiguos aún vigentes, ya que fue promulgado en 1970<sup>5</sup>. Los estándares del lixiviado quedan dado por un factor de uno a tres con respecto a los estándares para efluentes industriales, los cuales son a su vez diez veces mayor que los estándares de calidad de agua.

---

<sup>2</sup>Es interesante notar la definición Brasileña de residuos inerte: son aquellos que no tienen ningún constituyente solubilizado en concentración superior a los estándares de potabilidad del agua (exceptuando los estándares de aspecto, color, turbiedad y sabor)

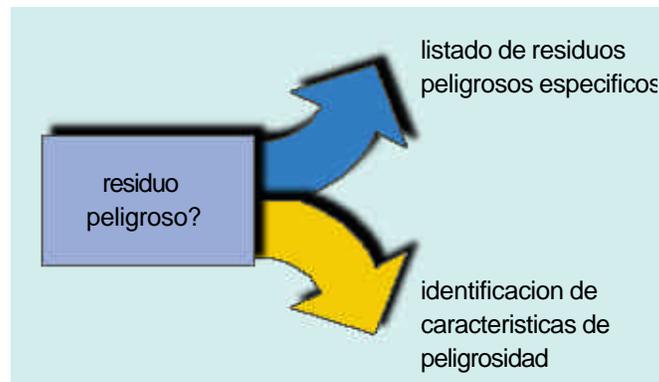
<sup>3</sup>Método de Ensaio; ABNT proj.1:63.02-002. Lixiviação de Resíduos Sólidos

<sup>4</sup>Esta variable indica característica, pero además permite establecer el grado de peligrosidad.

<sup>5</sup>Waste Disposal and Public Cleansing Law, 1970

### 5.3 IDENTIFICACION DE RESIDUOS PELIGROSOS

Los residuos peligrosos pueden venir casi en cualquier forma, haciendo dificultosa la determinación. Es posible encontrarlos en formas de líquido, semi sólido, sólido, o lodos. Pueden haber una serie de consideraciones prácticas que pueden ayudar a la determinación de la condición de peligrosidad. Como generadores se podría preguntar, por ejemplo, si las plantas de tratamiento convencional, o los rellenos convencionales aceptan o no nuestro residuo; o se podría preguntar si nuestro residuo se encuentra presenta en algún listado prioritario. Desgraciadamente esta situación no es siempre posible. Existen dos aproximaciones en la definición de residuo peligroso:



El Borrador de Reglamento de Manejo Sanitario de Residuos Peligrosos del Ministerio de Salud, fija cuatro características de peligrosidad, corrosividad, inflamabilidad, reactividad y toxicidad. En particular la toxicidad se distingue en toxicidad por lixiviación, toxicidad crónica y toxicidad aguda. Las últimas dos características, en términos prácticos están más relacionadas con presencia de sustancias químicas en los residuos, por lo que generalmente serán evaluadas mediante sistemas de listados y la primera se refiere más a un efecto, por lo que será estudiada exclusivamente con

sistemas analíticos. A continuación se revisan los mecanismos de identificación específicos.

## 5.4 SISTEMA DE LISTADO

El sistema de listado exhibe listados de sustancias específicas o procesos específicos. Un listado consiste en una descripción narrativa de un tipo específico de residuos (CDPHE, 1998) y que la autoridad considera lo suficientemente riesgosa como para merecer una regulación específica. Los listados de residuos describen residuos provenientes de procesos específicos, de procesos de rubros industriales específicos, o residuos en formas químicas específicas.

Este procedimiento tiene ventajas como desventajas. Entre las primeras destaca claramente la no necesidad de realizar análisis de laboratorio. Entre las desventajas se cuenta la necesidad de cuantiosos estudios para asegurar que lo listado sea efectivamente merecedor de dicha categoría, por otro lado los listados carecen de flexibilidad, lo cual puede llevar en varios casos a cometer “injusticias” o juicios equivocados respecto a una definición en particular.

Un aspecto fundamental en los sistemas de listado es establecer en forma muy clara y precisa los **criterios de listados**, o los fundamentos para la creación de dichas listas, lo cual permitirá su modificación a través del tiempo, si las condiciones de manejo o la calidad de los residuos varia.

### 5.4.1 EJEMPLO CHILE

*Un residuo se considerará como residuo peligroso si está incluido en alguna de las listas de categorías de residuos peligrosos definidas en el presente artículo, a menos*

que no presente ninguna de las características de peligrosidad mencionadas en el artículo 5 anterior.

### Categoría de Residuos Peligrosos I (VER ANEXO 1)

<b>Código</b>	<b>Residuos consistentes o resultantes de los siguientes procesos</b>
Y1	Residuos hospitalarios , excluidos los infecciosos
Y2	Residuos resultantes de la producción y preparación de productos farmacéuticos.
Y3	Desechos de medicamentos y productos farmacéuticos.
Y4	Residuos resultantes de la producción preparación y la utilización de productos biocidas y la utilización de biocidas y productos fitofarmacéuticos.
Y5	Residuos resultantes de la fabricación, preparación y utilización de productos químicos para la preservación de la madera.
Y6	Residuos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de solventes orgánicos.
Y7	Residuos que contengan cianuros, resultantes del tratamiento térmico y de las operaciones de temple.
Y8	Desechos de aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados.
Y9	Mezclas y emulsiones de desecho de aceite y agua o hidrocarburos y agua.
Y10	Sustancias y artículos de desecho que contengan, o estén contaminados por, bifenilos policlorados (PCB), terfenilos policlorados (PCT) o bifenilos polibromados (PBB).
Y11	Residuos alquitranados resultantes de la refinación, destilación o cualquier tratamiento pirolítico.
Y12	Residuos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices.
Y13	Residuos resultantes de la producción, preparación y utilización de resinas, látex, plastificantes o colas y adhesivos.
Y14	Sustancias químicas de desecho, no identificadas o nuevas, resultantes de la investigación y el desarrollo o de las actividades de enseñanza y cuyos efectos en el ser humano o el Medio ambiente no se conozcan.
Y15	Desechos de carácter explosivo que no estén sometidos a una legislación diferente.
Y16	Residuos resultantes de la producción, preparación y utilización de productos químicos y materiales para fines fotográficos.
Y17	Residuos resultantes del tratamiento de superficie de metales y plásticos.
Y18	Residuos resultantes de las operaciones de eliminación o tratamiento de residuo, tales como lodos, filtros, polvos, etc.

**Categoría de Residuos Peligrosos II**

<b>Código</b>	<b>Residuos que tengan como constituyentes</b>
Y19	Metales carbonilos
Y20	Berilio, compuestos de berilio
Y21	Compuestos de cromo hexavalente
Y22	Compuestos de cobre
Y23	Compuestos de Zinc
Y24	Arsénico, compuestos de arsénico
Y25	Selenio, compuestos de selenio
Y26	Cadmio, compuestos de cadmio
Y27	Antimonio, compuestos de antimonio
Y28	Telurio, compuestos de telurio
Y29	Mercurio, compuestos de mercurio
Y30	Talio, compuestos de talio
Y31	Plomo, compuestos de plomo
Y32	Compuestos inorgánicos de flúor, con exclusión del fluoruro cálcico
Y33	Cianuros inorgánicos
Y34	Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida
Y35	Soluciones básicas o bases en forma sólida
Y36	Asbesto (polvo y fibras)
Y37	Compuestos orgánicos de fósforo
Y38	Cianuros orgánicos
Y39	Fenoles, compuestos fenólicos, con inclusión de clorofenoles
Y40	Éteres
Y41	Solventes orgánicos halogenados
Y42	Solventes orgánicos, con exclusión de solventes halogenados
Y43	Cualquier sustancia del grupo de los dibenzofuranos policlorados
Y44	Cualquier sustancia del grupo de las dibenzoparadioxinas policloradas
Y45	Compuestos organohalogenados, que no sean las sustancias mencionadas en el presente artículo.
Y46	Sustancias orgánicas no halogenadas no empleadas como solventes.
Y47	Sustancias inorgánicas sin metales
Y48	Partículas o polvos metálicos

### Categoría de Residuos Peligrosos III

Código	Otros residuos
Y49	Catalizadores usados
Y50	Envases y Recipientes contaminados que hayan contenido uno o más constituyentes enumerados en la Categoría de Residuos Peligrosos II.
Y51	Residuos que procedan de la recolección selectiva o de la segregación de residuos sólidos domiciliarios que presenten al menos una característica de peligrosidad.
Y52	Suelos o materiales contaminados por alguno de los constituyentes contenidos en la Categoría de Residuos Peligrosos II.

*Un residuo tendrá la característica de **toxicidad crónica** si presenta una o más sustancias listadas en la Categoría de Residuos Peligrosos II del artículo precedente de las que en estudios científicos se haya demostrado que poseen efectos tóxicos acumulativos, carcinogénicos, mutagénicos o teratogénicos en humanos o en otras especies que permitan inferir tales efectos en seres humanos.*

*Se considerara un residuo como peligroso si el contenido de sustancias tóxicas crónicas es igual o superior al 0.1% en masa de los residuos.*

*Los productos químicos incluidos en los Anexos II y III del presente reglamento, serán considerados residuos peligrosos cuando sean descartados, se encuentren vencidos, fuera de especificación, o se encuentren como remanentes en envases y recipientes, así como los productos de derrames de cualquiera de ellos.*

*Los residuos a que se refiere el párrafo anterior serán considerados:*

*residuos tóxicos crónicos cuando contengan cualquiera de las sustancias incluidas en el Anexo II.*

*residuos tóxicos agudos cuando contengan cualquiera de las sustancias incluidas en el Anexo III.*

**ANEXO II:**

U001 Acetaldehído (I)

U001 Etanal (I)

U002 2-Propanona (I)

U002 Acetona (I)

U003 Acetonitrilo (I,T)

U004 1-feniletanona

U004 Acetofenona

U005 2-Acetilaminofluoreno

U005N-9H-fluoren-2 -il-acetamida

U006 Cloruro de acetilo (C,R,T)

U007 2-Propenamida

U007 Acrilamida

U008 Acido acrílico (I)

U008 Acido 2-propenoíco (I)

U009 2-Propenonitrilo

U009 Acrilonitrilo

U010 Mitomicin C

U0101,1a,2,8,8a,8b-hexahidro-8a-metoxi-5-metil-[1 a S-(1a alfa, 8 beta, 8a alfa, 8b alfa)]-6-amino-8- [[(aminocarbonil)oxi]metil]-azirino [2',3':3,4]pirrol [1,2-a] indol-4,7-diona

Environmental Protection Agency, EPA.

§ 261.33

Insoluble residue No.	Chemical ab- stracts No.	Substance
U004	30004-40-1	Agri 13
U005	75-07-0	Acetatehydra (I)
U004	75-07-0	Acetatehydra, buthion
U007	63-44-2	Acetamide, N-(4-ethoxyphenyl)-
U005	63-44-2	Acetamide, N-(4-ethoxyphenyl)-
U090	794-76-7	Acetic acid, (2,4-dichlorophenoxy) salts & esters
U112	141-78-8	Acetic acid ethyl ester (I)
U144	591-04-2	Acetic acid, acetyl(2+) salt
U214	563-40-6	Acetic acid, butylam(1+) salt
004	83-79-0	Acetic acid, 12,4,5-trichlorophenoxy-
-P022		
U002	67-64-1	Acetone (I)
U003	75-05-0	Acetone (S.T)
U004	94-04-2	Acetophenone
U005	93-06-3	2-Acetylaminofluorene
U006	75-08-8	Acetyl chloride (C.D.T.)
U007	75-06-1	Acrylamide
U008	75-10-7	Acrylic acid (I)
U009	107-13-1	Acrylonitrile
U011	61-82-0	Ammonia
U012	62-83-2	Aniline (I.T)
U135	75-60-5	Asenic acid, dimethyl-
U014	495-05-0	Azobenzene
U015	115-02-0	Azoxine
U010	62-07-7	Aztreonam(2,3,4)-pyrimid(1,2,4)-imidaz-4,7-dione, 6-amin-5-[[amino(2-oxo-1,1a,2,2a,8b-tetrahydro-2-methoxy-5-methyl-1,4,8-(1a,4a,8a,8b,8c,8d,8e,8f,8g,8h,8i,8j,8k,8l,8m,8n,8o,8p,8q,8r,8s,8t,8u,8v,8w,8x,8y,8z)-9-oxo-9H-fluoren-2-ylideneamino]oxy]propanoate
U020	701-07-4	Baibin
U079	2078-03-0	Bendiocarb
U084	51182-12-0	Bendiocarb, dithion

### Anexo III

P004 Aldrin

P005 Alil alcohol

P005 2-Propen-1-ol

P006 Fosforo de aluminio (R, T)

P007 5-(Aminometil)-3-isoxazolol

P007 5-(Aminometil)-3(2H)-isoxazolona

P008 4-Piridinamina

P008 4-Aminopiridina

P009 2,4,6-Trinitrofenol, sal de amonio (R)

P009 Picrato de amonio

P010 Acido arsénico

P011 Pentóxido de arsénico

P011 Oxido de arsénico As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

**Environmental Protection Agency, EPA**

**§ 261.33**

in either §261.31 or §261.32 or will be identified as a hazardous waste by the characteristics set forth in subpart C of this part.)

(e) The commercial chemical products, manufacturing chemical intermediates or off-specification commercial chemical products or manufacturing chemical intermediates referred to in paragraphs (a) through (d) of this section, are identified as acute hazardous wastes (H) and are subject to be

the small quantity exclusion defined in §261.5(e).

(Comment: For the convenience of the regulated community the primary hazardous properties of these materials have been indicated by the letters F (Toxicity), and R (Reactivity). Absence of a letter indicates that the compound only is listed for acute toxicity.)

These wastes and their corresponding EPA Hazardous Waste Numbers are:

Hazardous waste No.	Chemical abstract file No.	Substance
P003	107-30-0	Acetaldehyde, ethyl-
P003	301-08-2	Acetamide, N-(nitroethoxyacetyl)-
P057	890-18-7	Acetanilide, 2-fluoro-
P058	62-74-8	Acetic acid, form-, sodium salt
P003	501-08-2	1-Acetyl-3-oxoindole
P003	107-02-8	Acetone
P070	116-06-0	Acid carb.
P203	1646-88-4	Adipic sulfone
P004	309-02-2	Agon-
P006	107-18-6	Allyl alcohol
P000	20850-93-8	Aluminum phosphide (R,T)
P007	1763-88-4	5-(Aminomethyl)-2-imidazole
P008	504-24-5	4-Aminopyridine
P009	131-34-8	Ammonium nitrate (R)
F119	1803-85-8	Ammonium vanadate
P059	506-81-8	Argoitate(1-); bicyanide(2-); potassium
P010	7738-39-4	Arsenic acid H <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub>
P012	1327-53-0	Arsenic oxide As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
P011	1303-25-2	Arsenic oxide As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
P011	1303-25-2	Arsenic pentoxide
P012	1327-53-3	Arsenic trioxide
P028	602-43-2	Arsine, diethyl-
P028	609-28-8	Arsinous chloride, diethyl-
P054	151-38-4	Azobenzene
P057	75-88-9	Azobenzene, 3-methyl-
P013	343-62-1	Baryte sulfate
P024	109-47-9	Benzenamine, 4-chloro-
P027	100-01-6	Benzenamine, 4-nitro-
B008	100-34-7	Benzene, tetrafluoromethyl-

**Número CAS:** Chemical Abstracts Service es el producto más grande del mundo y la más completa base de datos de información química. Incluye alrededor de 15 millones de documentos y más de 22 millones de sustancias químicas respectivamente registradas. CAS también produce base de datos de reacciones químicas, productos químicos disponibles en el mercado y compuestos químicos patentados.

## **5.5 SISTEMA ANALITICO**

Se identifican cuatro características para residuos peligrosos: toxicidad, corrosividad, reactividad e inflamabilidad. Para cada uno de ellos existen ensayos de laboratorios estandarizados.

En particular para el caso US EPA SW-846:

### **5.5.1 TOXICIDAD**

#### **Toxicidad: Test de Lixiviación (TCLP)**

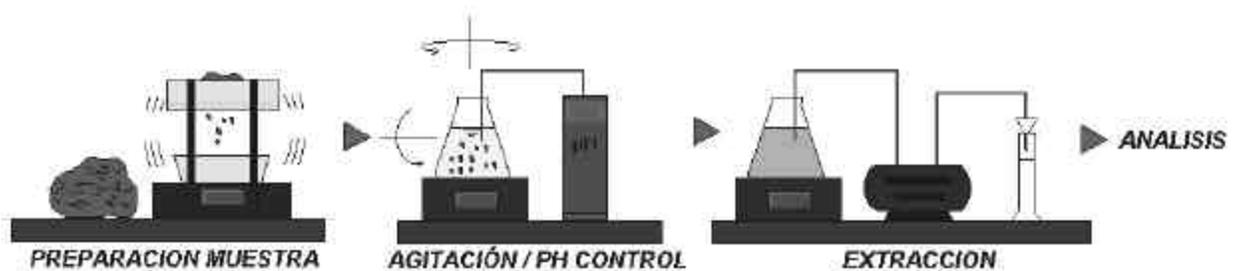
Un test de lixiviación batch es una forma rápida y barata de evaluar el potencial de peligrosidad de residuos dispuestos en suelo.

PRINCIPIOS: El potencial impacto en el medio ambiente de residuos sólidos dispuestos en suelo es generalmente evaluado y estimado utilizando test de lixiviación a escala de laboratorio. Sin embargo, existen varias condiciones ambientales presentes en terreno que no pueden ser reproducidas en laboratorio. Esto se debe fundamentalmente a diferencias temporales entre las dos situaciones de percolación. Por motivos prácticos es necesario condensar varios años de proceso de percolación bajo condiciones de terreno en un periodo de extremado corto plazo en un laboratorio, utilizando una alta razón líquido sólido. Esta contracción temporal impide la reproducción de la cinética de

la emisión de contaminantes desde un relleno y necesariamente no considera aquellos factores que son dependientes de variables temporales en terreno, como por ejemplo la actividad microbiana, variaciones de temperatura y posible interacción entre distintos tipos de residuos (co-disposición). Estas limitaciones de los test de lixiviación deben ser tomados en cuenta en una posterior interpretación de resultados.

Un test de lixiviación puede ser utilizado tanto para *clasificación de residuos* o para *predicción de calidad de percolado*. Cuando el test es utilizado para clasificación de residuos (por ejemplo clasificar como peligroso o no peligroso) una metodología estándar es apropiado ya que permite la comparación entre laboratorios y asegura una mejor reproducibilidad de resultados. Cuando el test es utilizado para predecir la calidad del percolado a generarse en una determinada situación, lo prioritario es ajustar lo más posible el test a las condiciones específicas del sitio (con respecto a este último punto existen una serie de referencias que pueden ser consultadas).

Con respecto al uso de lisímetros se prefiere el uso de test tipo batch pues este último tipo es más rápido y simple, y además los resultados son más reproducibles que los de columna, ya que las condiciones pueden ser mejor controladas e un relativo corto plazo.



ESQUEMA DE TEST DE LIXIVIACION



En el desarrollo de un test de lixiviación para clasificar residuos debe distinguirse dos partes esenciales en su desarrollo:

*Escenario de simulación*, que consiste básicamente en el modelo de manejo de residuos que se quiere simular, incluyendo tipo de residuos, medio de transporte de contaminantes, etc.;

*Condiciones del test batch*, que dependen en parte por (a) y también en disponibilidad de elementos en laboratorios, costos, etc. Entre las principales variables se puede nombrar: método de agitación, medio de percolación (incluyendo pH y capacidad de buffer), razón líquido sólido, tiempo de extracción, número de extracciones, protocolo de preparación de la muestra.

En el desarrollo del test para identificar característica de toxicidad la EPA se concentró en el potencial riesgo asociado a residuos industriales peligrosos que no fueran manejados como tales y que podrían producir contaminación a cursos de aguas

subterráneas. Para el desarrollo de este test se supuso un escenario de co-disposición entre residuos domiciliarios, en una proporción del 95% y de residuos industriales peligrosos 5%. El test fue oficialmente promulgado en 1980 bajo el nombre de Extraction Procedure Toxicity Characteristic (EPTC, EP). Al momento de su dictación la EPA reconoció dos serios defectos a este procedimiento:

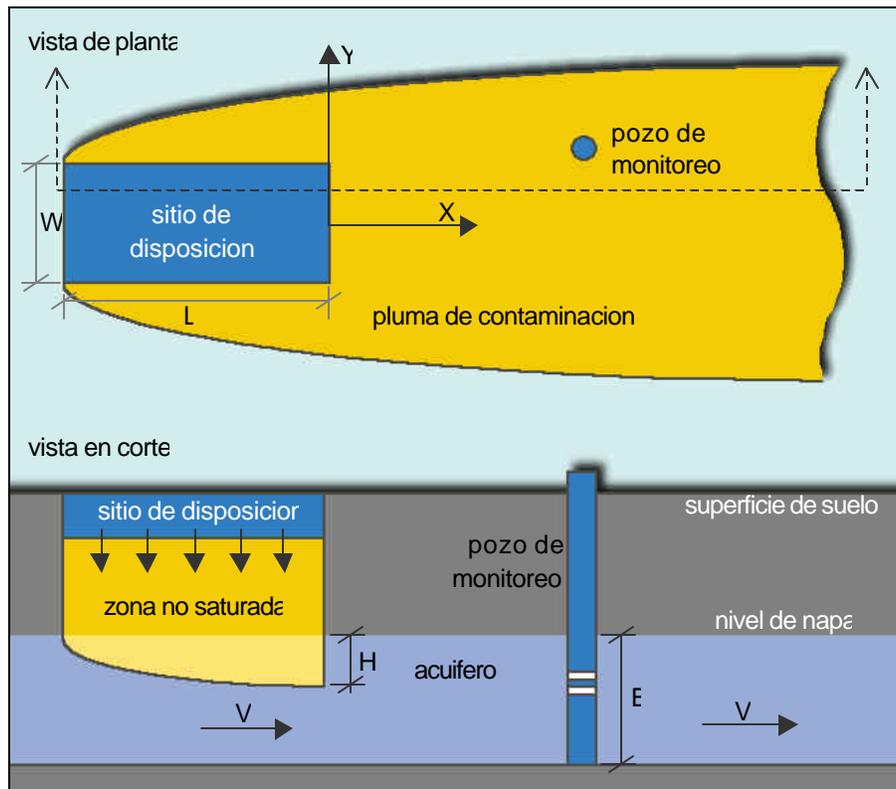
La única referencia establecida para la determinar la lista de elementos y sus correspondientes estándares de toxicidad fue la referencia de los valores del National Interim Primary Drinking Water Standards. Se utilizó un factor de 100 que tomaba en cuenta la atenuación natural causada del suelo. Este factor se conoce como *factor de dilución / atenuación*, DAF.

El EP fue designado para evaluar la toxicidad de elementos inorgánicos, pesticidas y herbicidas, 14 en total.

Por lo anterior EPA inició el desarrollo de un nuevo test, el cual fue finalmente promulgado en 1986. El TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) es utilizado para cuantificar la extractibilidad de algunos constituyentes peligrosos de residuos sólidos bajo un conjunto definido de condiciones de laboratorio. Este test es utilizado para evaluar la percolación desde residuos de metales, compuesto orgánicos volátiles y semi volátiles, y pesticidas, que presentan característica de toxicidad (TC). Al listado original de 14 compuestos referidos por el EP se agregaron 25 compuestos orgánicos no pesticidas, no herbicidas, llegándose a un total de 39 compuestos. El TCLP es el procedimiento más comúnmente utilizado por la EPA y las oficinas estatales para evaluar el potencial de percolación de los residuos y determinar su toxicidad.

En este test se asumen las siguientes hipótesis:

Escenario de mal manejo:



Sitio relleno sanitario convencional. Sobre zona no saturada y acuífero

Co-disposición, disposición conjunta de residuos peligrosos y residuos domiciliarios.

en peso de residuos domiciliarios y 5% de residuos peligrosos.

Percolación en régimen “estable”

Transporte de contaminantes y atenuación natural (DAF)

Pozo para agua potable ubicado a 500 pies aguas abajo del sitio.

Comparar con estándares dados por la lista TC.

TABLA. NIVELES DE CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE

Ítem	Sustancia	Concentración Máxima permisible (mg/l)
1	Arsénico	5,0
2	Cromo total	5,0
3	Mercurio	0,1
4	Plomo	5,0
5	Selenio	1,0
6	Bario	100,0
7	Benceno	0,5
8	Cadmio	1,0
9	Tetracloruro de carbono	0,5
10	Clordano	0,03
11	Clorobenceno	100,0
12	Cloroformo	6,0
13	o-Cresol	200,0
14	m-Cresol	200,0
15	p-Cresol	200,0
16	Cresol <sup>6</sup>	200,0
17	2,4-D	10,0
18	1,4-Diclorobenceno	7,5
19	1,2-Dicloroetano	0,5
20	1,1-Dicloroetileno	0,7
21	2,4-Dinitrotolueno	0,13
22	Endrin	0,02
23	Heptacloro (e Hidróxido)	0,008
24	Hexaclorobenceno	0,13
25	Hexaclorobutadieno	0,5
26	Hexacloroetano	3,0
27	Lindano	0,4
28	Metoxicloro	10,0

---

<sup>6</sup> Sólo se considera en caso que las tres formas anteriores de cresol no hayan sido medidas

Ítem	Sustancia	Concentración Máxima permisible (mg/l)
29	Metiletilcetona	200,0
30	Nitrobenceno	2,0
31	Pentaclorofenol	100,0
32	Piridina	5,0
33	Plata	5,0
34	Tetracloroetileno	0,7
35	Toxafeno	0,5
36	Tricloroetileno	0,5
37	2,4,5-Triclorofenol	400,0
38	2,4,6-Triclorofenol	2,0
39	2,4,5-TP (Silvex)	1,0
40	Cloruro de vinilo	0,2

**SPLP:** Simultáneamente con el desarrollo del TCLP la US EPA diseñó como alternativa el test Synthetic Acid Precipitation Leaching Test (SPLP), método 1312 del SW-846, que simula la disposición en un ambiente de lluvia ácida o nieve. Al igual que el TCLP el test SPLP trata de determinar la movilidad de contaminantes, tanto orgánicos como inorgánicos, contenidos en los residuos. Sin embargo el SPLP trata de simular el efecto de lluvia ácida en residuos dispuestos en tierra, a diferencia del TCLP que simula la acción de ácidos orgánicos. El procedimiento del SPLP es bastante similar al TCLP, pero el paso inicial de separación de la fase líquido-sólido ha sido eliminada. La diferencia fundamental entre los dos test radica en la composición del medio de extracción o percolación. Mientras que el TCLP se basa en fluidos que simulan los ácidos orgánicos (buffer de acetato) que deberían formarse por la descomposición de residuos en un relleno sanitario, el SPLP requiere el uso de fluidos de extracción que simulen lluvia ácida (buffer de mezcla de ácido nítrico con ácido sulfúrico). El fluido específico utilizado en el test SPLP es función del material que está siendo analizado y la localización geográfica en que se va a depositar. Al Este del río Mississippi el fluido

de extracción es ligeramente más ácido, a un pH 4.20, reflejando esto los impactos de la contaminación atmosférica causada por la fuerte industrialización y uso de carbón; en tanto que al Oeste del río Mississippi el fluido es a pH 5.00, debido al menor grado de industrialización y las menores densidades de población. Este test es actualmente utilizado por varios estados norteamericanos para evaluar la percolación de constituyentes del listado TC para caracterizar los residuos.

### **5.5.2 INFLAMABILIDAD**

La característica de inflamabilidad es la que identifica el residuo capaz de causar fuegos durante operaciones rutinarias de transporte, almacenamiento y disposición, y/o el residuo capaz de exacerbar el fuego una vez este iniciado. Los riesgos asociados a este tipo de residuo incluyen peligro para los trabajadores involucrados en el manejo y transporte de los desechos, tales como quemaduras, inhalación de humos, y la potencial generación y transporte facilitado en el aire de particulado tóxico y fumarolas que pueden dañar al ser humano.

En el caso USA los residuos son clasificados como inflamables si cumplen cualquiera de los cuatro criterios:

Un líquido que tenga punto de inflamación a menos de 60°C

Un no líquido capaz, bajo temperatura y presión estándar, de causar fuego a través de fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos, y una vez iniciada la ignición, quema en forma tan vigorosa y persistente que constituya un peligro

Gas comprimido inflamable

Oxidantes definidos como inflamables

### 5.5.3 CORROSIVIDAD

Los materiales corrosivos son líquidos o sólidos que pueden destruir el tejido humano por contacto con la piel o por inhalación, o que pueden corroer metales. Algunos materiales corrosivos son también oxidantes, tóxicos e inestables, y se descomponen fácilmente cuando son calentados. Ácidos son el ejemplo más común, tales como el ácido sulfúrico y el clorhídrico. La corrosión incluye múltiples peligros, como posible soporte para combustión, rápidas emanaciones de calor, toxicidad e inestabilidad.

En el caso USA, la US EPA<sup>1</sup>, los residuos son clasificados como corrosivos si se cumplen alguno de los dos siguientes criterios:

Un líquido con pH entre  $\text{pH} \leq 2$  o  $\text{pH} \geq 12.5$ .

Corroer acero (tipo SAE 1020) a una tasa mayor que 6.35 mm/año, a una temperatura de 55°C.

### 5.5.4 REACTIVIDAD

La característica de reactividad incluye residuos que debido a su extrema inestabilidad y tendencia a reaccionar violentamente o a explotar poseen un problema en todos los niveles del manejo de los residuos. Esta característica es importante ser considerada para atenuar el riesgo físico a los trabajadores involucrados en el transporte y disposición de estos desechos, y para evitar accidentes que podrían resultar en la emanación de compuestos tóxicos en el aire luego de una explosión o una reacción violenta. Los residuos son clasificados como reactivos si cumplen alguno de los siguientes criterios:

Normalmente inestables, reacciona violentamente con agua, forma mezclas explosivas con agua, genera gases tóxicos, es un residuo portador de cianuro o sulfuro, capaz de detonar, o capaz de reacciones explosivas, o es definido explícitamente como un explosivo.

En secciones posteriores se analiza con mayor detención otros aspectos del reglamento de residuos peligrosos.

### **5.5.5 LIMITACIONES DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS**

Aparte de las obvias dificultades asociadas con la adopción y la implementación de metodologías extranjeras, por ejemplo, diferencias de idiomas y discrepancias de interpretación o dificultades en la obtención del equipamiento y los aparatos extranjeros, existen complejidades técnicas o reglamentarias subyacentes que deben considerarse caso por caso.

La US EPA realizó una investigación acerca de las limitaciones o “vacíos”, de las características de los residuos peligrosos. Los resultados de esta investigación han sido publicados en el Hazardous Waste Characteristics Scoping Study<sup>7</sup>. En este estudio, la US EPA identifica las limitaciones de las actuales características de los residuos peligrosos. Entre las limitaciones más relevantes se encuentran las siguientes:

---

<sup>7</sup> Hazardous Waste Characteristics Scoping Study, U.S. EPA, Office of Solid Waste, November 15, 1996

### **TOXICIDAD POR LIXIVIACIÓN (TCLP):**

Incorporando cal en el residuo antes del muestreo y del análisis se puede disminuir el potencial de lixiviación de los metales. Como resultado de esto, los residuos que anteriormente eran rechazados por el TCLP, ahora lo están pasando.

Agregando limaduras de hierro a los residuos se disminuye el potencial de lixiviación del plomo. Desafortunadamente, esto es una solución a corto plazo, ya que con el tiempo la química del relleno sanitario puede provocar la liberación del plomo.

El TCLP puede no detectar adecuadamente el plomo en residuos de pinturas al plomo debido a los revestimientos orgánicos que interfieren con el proceso de lixiviación.

El TCLP ha demostrado no funcionar en las muestras de aceite residual.

Por esta y otras razones, dentro de Estados Unidos el Estado de California ha elaborado reglamentos de manejo de residuos peligrosos que son más estrictos que las exigencias federales.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> California Environmental Code Regulations Title 22, California Environmental Protection Agency, Department of Toxic Substances Control, Science, Pollution Prevention, and Technology Program, Human and Ecological Risk Division (HERD)

### **PUNTO DE INFLAMACIÓN (PENSKY-MARTENS D-93 ASTM):**

El Método D-93 de ASTM es un método de prueba establecido específicamente para los productos de petróleo y el equipo real está diseñado para dicha aplicación. Depende del equipamiento de Prueba de Copa Cerrada de Pensky-Martens. El método fue adoptado por la US EPA por ser el único método disponible que se aproximaba más a las necesidades de clasificación de sustancias inflamables. Como el equipamiento de Pensky-Martens no se diseñó para realizar pruebas de líquidos residuales, su eficiencia en esta aplicación no es la máxima. El equipamiento estándar no puede realizar pruebas en líquidos que son conductores de la electricidad, como agua o líquidos que contengan agua y líquidos con silicio. En consecuencia, se ha mejorado el equipo estándar mediante modificaciones realizadas no más de dos años atrás, para satisfacer las necesidades de clientes que deben emplear el equipamiento en conformidad con el método EPA/ASTM. La actualización del equipo incluye la adición de dos componentes: el detector térmico y un conjunto de cubierta especial.<sup>9</sup>

Líquidos Inflamables vs. Líquidos Combustibles: La definición de inflamabilidad y su característica de peligroso tienen distintas interpretaciones dependiendo del idioma empleado y de la reglamentación ambiental que incorpora esa definición o característica. La tabla que sigue presenta algunas diferencias que pueden causar confusión, al consultar referencias internacionales:

---

<sup>9</sup> Varlen Instruments, owner and parent company of Walter Herzog manufacturer of the flash point analyzer equipment.

TABLA : Líquidos Inflamables y Combustibles

Inglés	Clasificación Reglamentaria de EE.UU.	Español	Clasificación Reglamentaria Chilena
Ignitable	EPA / RCRA Residuos con FP inferior a 140°F ó 60° C (residuo peligroso)	no reconocido	no reconocido
Flammable	Residuos DOT y DOL con FP inferior a 100°F/37.8°C	Inflamable	MINSAL - residuos con FP inferior a 61° C.
Combustible	Residuos DOT con FP entre 100°F/37.8°C y 200°F /93.3°C	Combustible	S.E.C. - mezclas de hidrocarburos clasificadas en cuatro clases distintas según el punto de inflamación.

*FP= Flash Point (Punto de Inflamación).*

*RCRA= Ley de Conservación y Recuperación de Recursos de los Estados Unidos*

*DOT= Ministerio de Transportes de los Estados Unidos,*

*DOL= Ministerio del Trabajo de los Estados Unidos,*

*MINSAL = Ministerio de Salud de Chile,*

*SEC= Superintendencia de Electricidad y Combustibles de Chile.*

**Sólidos Inflamables:** La propuesta de Reglamento de MINSAL define la característica de los sólidos inflamables de la siguiente manera: *“No es líquida y es capaz de provocar, bajo condiciones estándares de presión y temperatura (1 atm y 25°C) fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos y, cuando se inflama, lo hace en forma tan vigorosa y persistente que ocasiona una situación de peligro”*

Aunque se define la característica, no existen métodos reglamentarios ambientales “oficiales” para la realización de pruebas de inflamabilidad de residuos sólidos. Mientras tanto, hasta que se establezcan métodos oficiales, la clasificación de dichos sólidos inflamables puede basarse en la experiencia pasada consultando el material de referencia existente. Como referencia la siguiente tabla presenta algunos sólidos inflamables conocidos.

TABLA : Sólidos Inflamables<sup>10</sup>

Sólidos Inflamables	Sólidos Inflamables Reactivos al Agua
Carbón de leña	Potasio
Litio	Litio
Fósforo Rojo	Sodio
Polvos de: Magnesio, Circonio, Titanio, Aluminio, Zinc	

**CORROSIVIDAD:**

La característica de corrosividad y sus correspondientes métodos de pruebas se aplican a líquidos según la definición de la US EPA y la definición del MINSAL. Sin embargo, las reglamentaciones de residuos peligrosos de California incluyen métodos de pruebas adicionales de corrosividad en no líquidos e identifican residuos sólidos corrosivos, por ejemplo ciertas cenizas residuales y suelos corrosivos.

---

<sup>10</sup> Departamento de Transporte, EE.UU (Reglamentos 49 CFR 173)

## **6 MUESTREO RESIDUOS**

La naturaleza de las muestras ambientales, sean de aire, suelo, agua, residuos es que varían en composición, no son necesariamente uniformes y pueden cambiar con el tiempo en forma lenta o abrupta. Como resultado de esto, suele ser un desafío asegurarse de que se haya tomado una muestra “representativa”. Aún más, los objetivos personales, limitaciones de equipamiento, limitaciones de tiempo y dinero pueden afectar el muestreo. En el Plan de Muestreo se presentan las metodologías para garantizar el mejor muestreo posible. En las próximas secciones se presenta información acerca de los contenidos del plan de muestreo y del equipamiento de muestreo.

**(VER ANEXO 3)**

### **6.1 PLAN DE MUESTREO**

La preparación del Plan de Muestreo es un primer paso muy importante en el proceso de identificación o caracterización de residuos. El Plan de Muestreo describe el alcance del trabajo que debe lograrse y describirán los procedimientos e instrucciones específicas necesarias para lograr este trabajo. La selección de los procedimientos de muestreo es un paso muy importante debido a que todos los pasos siguientes, hasta el análisis, se verán afectados por los resultados del muestreo. Al margen de cuán sofisticado sea el equipamiento de laboratorio, la calidad de los datos generados dependerá de la calidad de la muestra presentada.

En general, el plan de muestreo debe considerar los objetivos reglamentarios y científicos que se aplican para cualquier muestreo. El objetivo científico del plan de muestreo es asegurarse de que la recolección de las muestras entregue el análisis posterior de aquellas muestras, las cuales generarán mediciones exactas y precisas.

Si las mediciones son lo suficientemente exactas y precisas, entonces pueden considerarse cálculos confiables de las propiedades químicas del residuo. El grado de exactitud y precisión del muestreo<sup>11</sup> es de vital importancia al considerar los objetivos reglamentarios. El objetivo reglamentario es obtener un cálculo confiable de las características químicas del residuo y compararlos con los valores reglamentarios de umbral. Un ejemplo de valores reglamentarios de umbral serían las concentraciones límites de metales pesados según el TCLP. En general, se requiere gran exactitud y precisión en uno o más contaminantes químicos de residuos sólidos presentes en una concentración cercana a la del umbral reglamentario. Se puede tolerar una menor exactitud y precisión si los contaminantes que se están analizando se producen a niveles mucho menores o mucho mayores que los umbrales reglamentarios.

Los objetivos reglamentarios y científicos del muestreo son consideraciones implícitas en la preparación y el plan de muestreo. Una vez que se han comprendido estos objetivos, se pueden fijar las instrucciones detalladas para el muestreo en el plan de muestreo. A, continuación, en la Tabla se presenta una descripción del plan de muestreo.

---

<sup>11</sup> Sample Accuracy is the closeness of a sample value to its true value. Sample Precision is the closeness of repeated sample values. Sampling accuracy is usually achieved by some form of random sampling. Sampling precision is most commonly achieved by taking an appropriate number of samples. U.S. EPA SW-846 Methods Manual - Chapter 9 - Sampling.

TABLA: Plan De Muestreo

Nº	Sección	Descripción Contenidos
1	Alcance del Trabajo	Descripción y Propósito del Proyecto, Declaración de los objetivos científicos y exigencias reglamentarias. Definición de metas, resultados esperados.
2	Programa y Administración	Identificación de límites de tiempo y asignación presupuestaria. Exigencias de documentación que se presentan : formularios de informes, formularios de muestreo, formularios de custodia y copias de los permisos, si se requieren. Se entregan los rótulos y las instrucciones de rotulación.
3	Información del Sitio	Descripción del Sitio, dirección, ubicación del muestreo, instrucciones de acceso al sitio, nombres y números telefónicos de contacto.
4	Procedimientos de Muestreo	Tipos de Muestras que se deben tomar, cantidad y tamaños de las muestras, puntos de muestreo, cuándo tomar las muestras, análisis en terreno requeridos (por ejemplo, screenings, headspace), muestras de QC que se deben tomar, preparación de los blancos de terreno, etc. Instrucciones de muestreo, por ejemplo para residuos en tambores, en lagunas, en pilas, etc.
5	Equipamiento y Materiales	Tipos de contenedores de muestreo, reactivos e instrucciones de conservación, instrucciones de transporte y almacenamiento, etc. Se identifican las limitaciones del equipamiento.
6	Información sobre Salud y Seguridad	Identificación de Peligros. Equipamiento de protección personal y materiales de primeros auxilios que deben tenerse a mano. Información de emergencia - Números telefónicos.
7.	Información Adicional Especial	Condiciones climáticas, instrucciones del plan Para situaciones imprevistas, etc.

## **6.2 TIPOS DE MUESTRAS**

Los tipos más comunes de muestras son muestras compuestas y muestras simples (grab samples). El muestreador debe decidir qué muestras proporcionarán la mejor muestra representativa en consideración de la complejidad del residuo, de la ubicación del residuo y los recursos financieros.

### **MUESTRA COMPUESTA**

Una muestra compuesta, es un grupo bien mezclado de submuestras, también denominadas incrementos, de la misma muestra tomadas desde distintos puntos del lugar de residuos. Las muestras compuesta se toman cuando el lugar de residuos no es homogéneo debido a la estratificación o debido a la disposición simultánea de distintos residuos en el mismo lugar. Algunas de las desventajas o limitaciones de las muestras compuestas son las siguientes :

Pérdida de volátiles debido a la mezcla y a la preparación de las submuestras

Reactividad con distintos materiales una vez que está mezclada

Determinación de la cantidad mínima de submuestras que se deben tomar.

Necesidad de reducir el tamaño de la muestra y de homogeneizar para la entrega a laboratorio, lo cual puede afectar la representatividad.

## **MUESTRA SIMPLE (*GRAB SAMPLE*)**

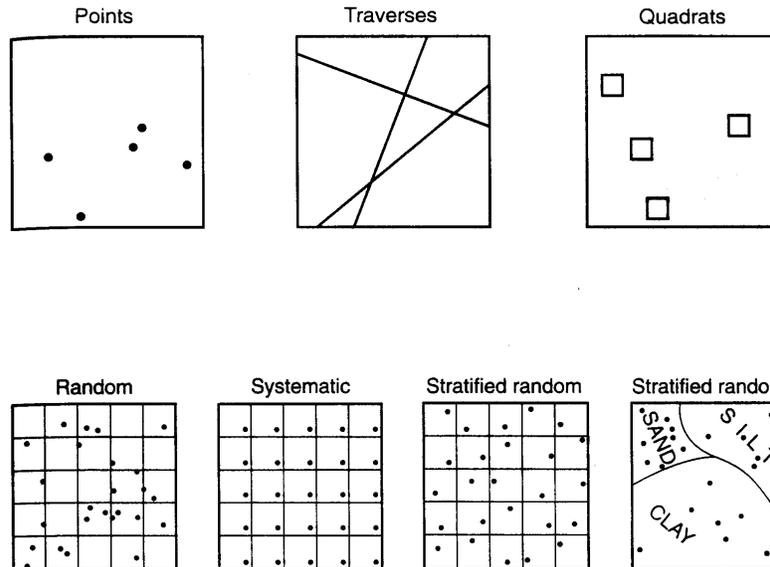
Una muestra simple es una muestra bien mezclada que se saca un sólo punto. Se emplea para medir un parámetro en particular dentro de una capa homogénea de residuo. Las muestras simples también se pueden denominar muestras grandes, en particular si el objetivo es recoger una muestra rápida y de aleación simple.

### **6.3 PUNTOS Y CANTIDAD DE MUESTREOS**

El plan de muestreo identifica la cantidad de muestras que se deben tomar y sus respectivos puntos o lugares de muestreo. Según la ASTM<sup>12</sup> existen tres sistemas para seleccionar los puntos de muestreo. Las **Muestras de Juicio** se deciden de acuerdo con las observaciones visuales y el conocimiento previo del residuo. Las **Muestras de Coordenadas** se basan en el uso de un sistema de coordenadas (1-2 coordenadas basadas en números aleatorios) y las muestras se toman en puntos aleatorios a partir del origen de las coordenadas. Las **Muestras de Grilla** implican el muestreo en intervalos o puntos de grilla en un sistema de grillas imaginario trazado sobre el sitio (en particular tiene utilidad para muestrear contaminación en suelo).

---

<sup>12</sup> ASTM Standard D 4687 - 95: Standard Guide for General Planning of Waste Sampling.



En múltiples ocasiones, la cantidad de muestras y los puntos de muestreo se calculan empleando conceptos estadísticos fundamentales. No viene al caso una discusión de estos conceptos estadísticos dentro del alcance de este curso. Sin embargo, para obtener más información y detalles sobre esta materia, el lector puede remitirse a los documentos de referencia recomendados, los cuales se indican a continuación:

*La Norma ASTM D 4687-95 proporciona un poco de información acerca del cálculo estadístico de la cantidad de muestras. Esta Norma se encuentra en el Anexo - Documentos de Referencia -Muestreo y Analisis.*

*“Essential Environmental Science, Methods & Techniques”, publicado por Simon Watts & Lyndsay Halliwell. Routledge. Londres. 1996*

*El Capítulo 9 del Manual de Métodos SW-846 de la EPA de EE.UU.*

## 6.4 EJEMPLOS DE SITUACIONES

Se presentan fotografías de diferentes situaciones probables de muestreo



## 6.5 SEGUIMIENTO DE RESIDUOS GENERADOS EN PROCESOS INDUSTRIALES

La industria no es el único sector generador de residuos peligrosos, pues también hay que considerar el uso de plaguicidas químicos en la agricultura, y los residuos generados por clínicas y hospitales. También hay que recordar que en los hogares, aun cuando en menor cuantía, son también generadores de residuos peligrosos domésticos, en la medida en que consumen y desechan productos que contienen sustancias y materiales tóxicos.



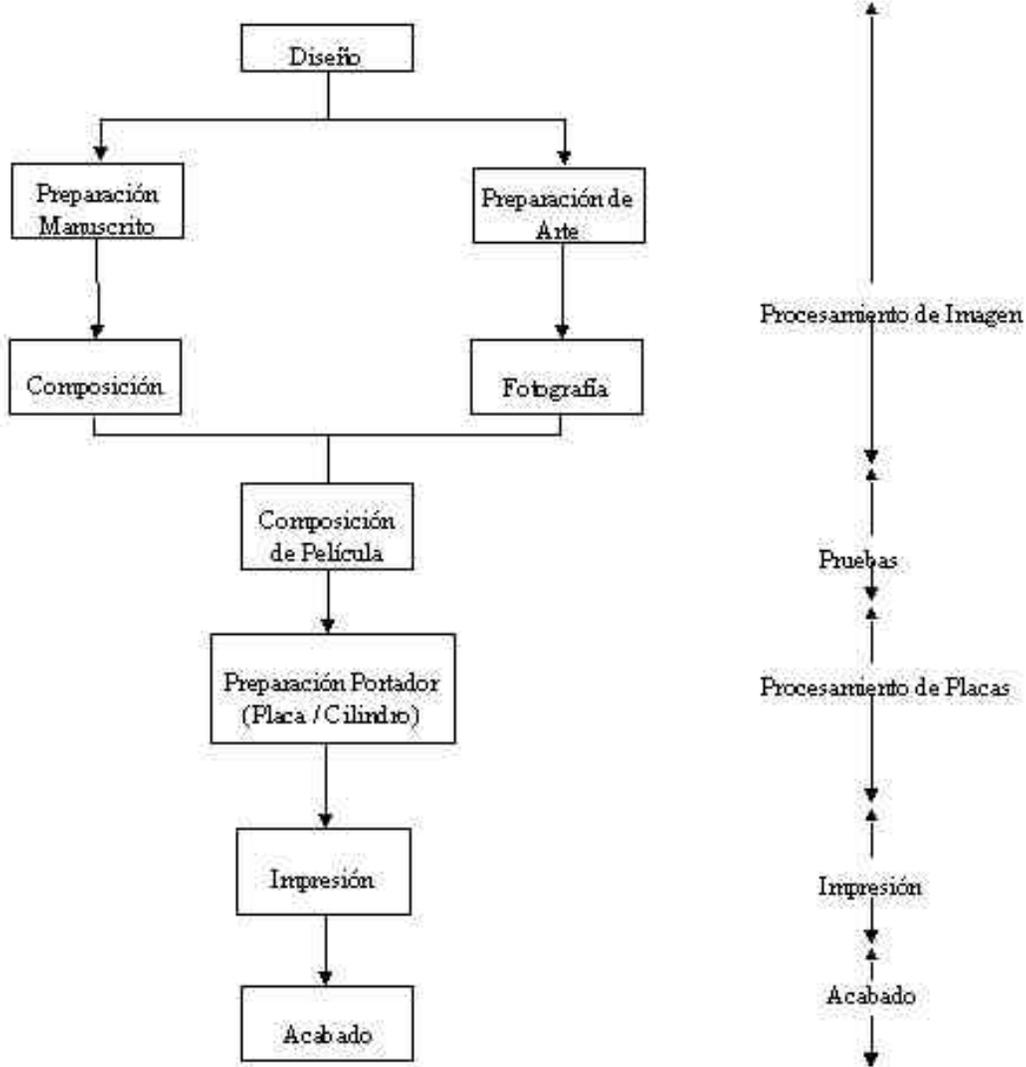
Existen una serie de fuentes de información para identificar o asociar residuos industriales y peligrosos (potenciales) respecto a procesos industriales. A continuación se entrega una lista de referencia, preparada a partir de la relación de procesos industriales y los compuestos analizados en el TCLP.

Rubros	Compuestos TL	
Acrílicos	Metiletilcetona	
Adhesivos	Benceno	1.1 Dicloroetileno
	Tricloroetileno	2.4.5-Triclorofenol
Agroindustria	Clordano	Piridina
	Heptacloro	Silvex
	Arsénico	1.4 Diclorobenceno
	Mercurio	Endrin
	Cresol	Metoxicloro
	Pentaclorofenol	2.4.6-Triclorofenol
Caucho	Toxafeno	2.4.5-Triclorofenol
	Selenio	Piridina
	Bario	2.4.5-Triclorofenol
Cerámica	Bario	
Combustible	Tetracloroetileno	Plomo
Cosméticos	1.2 Dicloroetano	

<b>Rubros</b>	<b>Compuestos TL</b>	
Curtiembres	Cromo	
Desinfectantes agrícolas	Clordano	Piridina
	Heptacloro	Silvex
	Arsénico	1.4 Diclorobenceno
	Mercurio	Endrin
	Cresol	Metoxicloro
	Pentaclorofenol	2.4.6-Triclorofenol
Detergentes	Toxafeno	2.4.5-Triclorofenol
	Benceno	
Eléctricas	Arsénico	Selenio
	Mercurio	Tricloroetileno
Explosivos	Hexacloroetano	2.4 Dinitrotulueno
Fertilizantes	Arsénico	
Fibra de vidrio	Metiletilcetona	
Fluido hidráulico	Hexacloro-1,3-Butadieno	
Fotográfica	Plata	Cadmio
		Plomo
Fundición	Plomo	
Insecticidas y Plagicidas	Clordano	Piridina
	Heptacloro	Silvex
	Arsénico	1.4 Diclorobenceno
	Mercurio	Endrin
	Cresol	Metoxicloro
	Pentaclorofenol	2.4.6-Triclorofenol
Intercambiadores de calor	Toxafeno	2.4.5-Triclorofenol
	Tricloroetileno	
Lecherías	Metoxicloro	
Madereras	Hexaclorobenceno	2.4.5-Triclorofenol
	Cromo	Pentaclorofenol
	Arsénico	
Metalurgia	Cromo	Tetracloruro de Carbono
	Arsénico	Tricloroetileno

<b>Rubros</b>	<b>Compuestos TL</b>	
Minería	Plomo	
	Selenio	
Pinturas	Mercurio	Cloroformo
	Selenio	Clorobenceno
	Bario	2.4 Dinitrotolueno
	Tetracloruro de Carbono	2.4.5-Triclorofenol
Plásticos	Benceno	
Química orgánica	Nitrobenceno	Pentaclorofenol
Químicas	Cloroformo	
Serigrafía	Clorobenceno	
Solventes	Hexacloroetano	
Textil	Piridina	2.4.5 – Triclorofenol
Vidrio	Arsénico	Bario

En general para cualquier proceso o actividad, con el fin de identificar los residuos potenciales a generar, se debe conocer un diagrama de proceso de la actividad. En el ejemplo se presente un diagrama de proceso de una imprenta.



Es deseable generar tablas donde se identifiquen claramente los tipos de residuos generados, asociados a las diferentes etapas de los procesos. Continuando con el esquema anterior se presenta un listado de potenciales residuos asociados a las distintas etapas de la imprenta.

Tabla: Residuos de Imprentas Por Etapa de Generación<sup>13</sup>

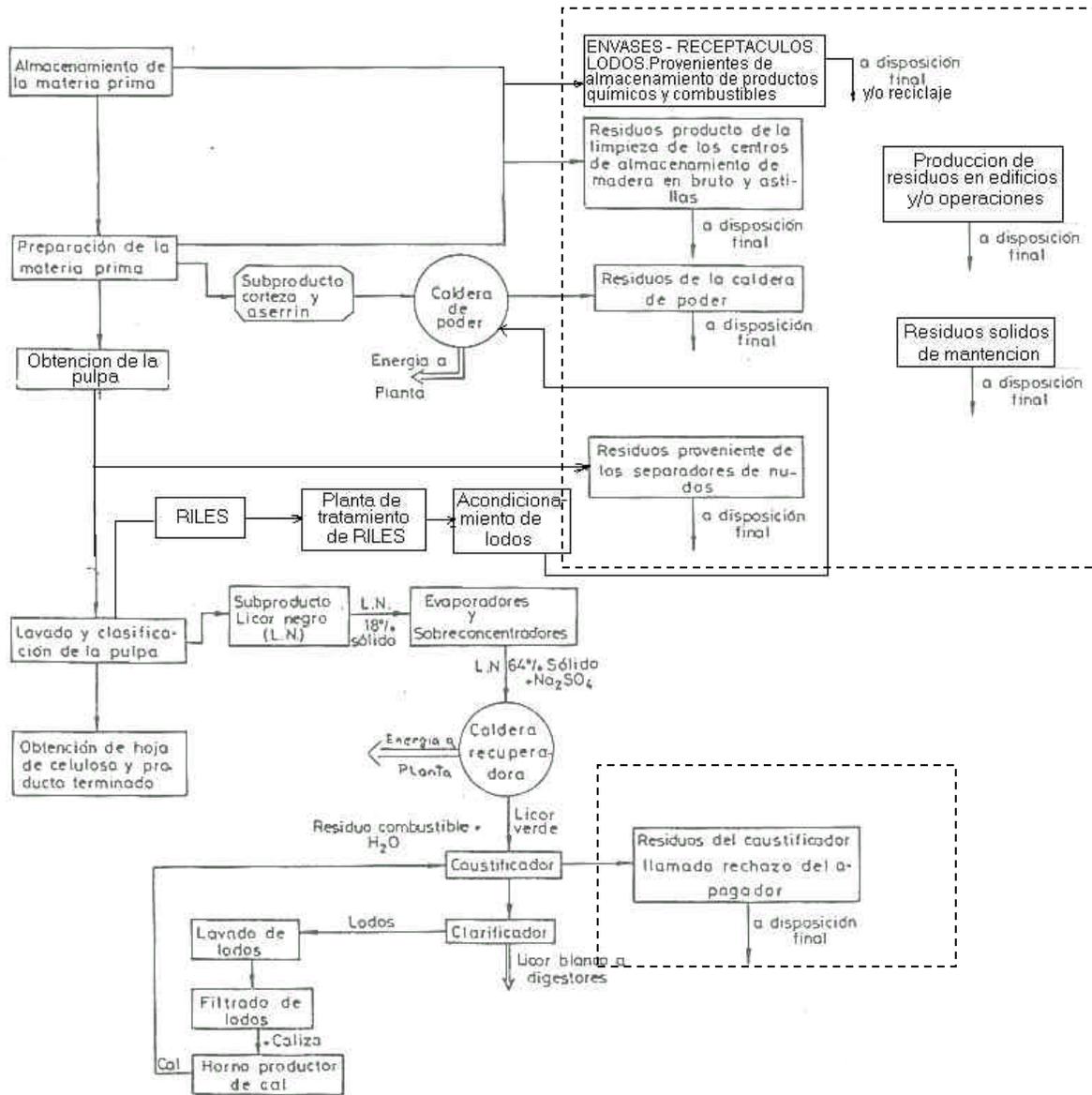
<b>Etapa</b>	<b>Tipos de Residuos</b>
Procesamiento de Imagen	Película expuesta y sobrante Restos de papel Latas de aerosol Revelador usado Fijador usado Químicos de lavado usada Paños sucios Envases de productos químicos Pruebas rechazadas COVs Residuos líquidos conteniendo reveladores, fijadores con plata, intensificadores, reductores y agua de lavado Materiales vencidos
Pruebas	Restos de papel Residuos de goma y adhesivos Envases
Procesamiento de Placas	Placas dañadas Envases de productos químicos Solventes y agua de lavado usada COVs Materiales vencidos

<sup>13</sup> Basado en PNPPRC, 1997 y Broward. Todas las etapas incluyen operaciones de limpieza.

<b>Etapa</b>	<b>Tipos de Residuos</b>
Impresión	Envases de tinta Impresos rechazados COVs (solución fuente, tintas, limpieza, adhesivos) Residuos de tinta y solvente Trapos Placas usadas y dañadas Soluciones fuentes usadas Cilindros o superficies dañadas Aceite usado
Acabado	Papel Adhesivos

Sería recomendable contar con diagramas de proceso combinados con generación en que se identifiquen claramente los puntos de generación. Por otro lado es necesario contar con cuantificación de los residuos así como una identificación clara de sus características. Esto indicará que tipo de manejo es el más apropiado.

A continuación se presenta el diagrama de procesos de una planta de celulosa en que se han identificado puntos de generación de residuos sólidos.



Es importante conocer esto al momento de realizar una evaluación de impacto ambiental y por ende tener certeza del manejo que se hará de cada uno de los residuos

generados. Existen casos en que residuos, como lodos de plantas de tratamiento de aguas industriales, que muy probablemente serán manejados como residuos, no se encuentran adecuadamente descritos en su manejo e incluso algunas veces no son tipificados como un residuo del proceso que se está calificando.

## **7 ALMACENAMIENTO DISPOSICIÓN TEMPORAL DE RESIDUOS PELIGROSOS**

El almacenamiento de residuos peligrosos, definido en términos generales, corresponde a la acción de retener temporalmente en condiciones controladas residuos en tanto se procesan para su aprovechamiento, tratamiento o disposición final. Específicamente, en Estados Unidos se considera como recinto para almacenar residuos peligrosos, aquel en el que un generador acumula residuos peligrosos por más de 90 días, actividad para la cual es mandatorio la obtención de un permiso. Empero, de acuerdo al volumen de residuos generados el tiempo límite de acumulación de los mismos puede ser extendido hasta 180 o 270 días:

La ley federal<sup>14</sup> exige de requerimientos a los generadores de 100 kg o menos de residuos peligrosos (o de 1 kg de residuos extremadamente peligrosos). No obstante, en California<sup>15</sup>, estos generadores pueden acumular sus residuos por un periodo ilimitado de tiempo hasta acumular un total de 100 kg de residuos peligrosos (o de 1 kg de residuos extremadamente peligrosos), momento en el cual el generador comienza a estar sujeto al tiempo límite de acumulación aplicable.

Las leyes federal y del estado de California permiten a los generadores de menos de 1.000 kg de residuos peligrosos por mes, acumular hasta 6.000 kg de estos durante 180 días sin la obtención de un permiso, o durante 270 días si los residuos van a ser transportados una distancia igual o superior a 200 millas.

---

<sup>14</sup> United States Code of Federal regulations, Title 40, Parts 261.5, 262.34

<sup>15</sup> California Code of Regulations, Title 22, Division 4.5, Section 66262.34

El referido periodo de 90 días lo dispone la U.S. EPA considerando este como tiempo suficiente para la acumulación de una cantidad tal de residuos cuyo transporte hacia instalaciones de tratamiento sea económico y eficiente; se establece en respuesta a la inquietud por la posibilidad de interferencias entre los requerimientos para el manejo de residuos peligrosos y el proceso de producción mismo.

La Comunidad Económica Europea<sup>16</sup> define el almacenamiento de residuos por un periodo superior a un año como almacenamiento a largo plazo y establece al respecto la necesidad de estabilizar previamente todo residuo reactivo o inestable. Además, dispone que todo almacenamiento permanente o indefinido debe ser considerado equivalente a disposición final.

En Chile no existen normas que regulen el almacenamiento de residuos sólidos industriales, en particular en los propios predios industriales. No obstante, el artículo 17 del reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo<sup>17</sup> prescribe que dicho almacenamiento requiere de autorización sanitaria, la cual debe ser expresa tratándose de residuos peligrosos, conforme lo estipula el D.F.L. N°1, de 1989, del Ministerio de Salud<sup>18</sup>.

---

<sup>16</sup> Proposal for a Council Directive on the Landfill of Waste, O.J. C 190/1. July 22, 1991

<sup>17</sup> Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Decreto Supremo N°745, de 1992, del Ministerio de Salud, publicado en el Diario Oficial con fecha 8 de junio de 1993.

<sup>18</sup> Decreto con Fuerza de Ley N°1 que determina materias que requieren de autorización sanitaria expresa. Decreto con Fuerza de Ley N°1, de 1989, del Ministerio de Salud, publicado en el Diario Oficial con fecha 21 de febrero de 1990.

A continuación se examinan criterios básicos que deben ser considerados para el adecuado almacenamiento de residuos peligrosos; se presentan como alternativas principales de almacenamiento el uso de contenedores, tanques, almacenamiento en tranques y en bodegas.

### **7.1 Tiempo de almacenamiento**

El almacenamiento de residuos peligrosos, definido en términos generales, corresponde a la acción de retener temporalmente en condiciones controladas residuos en tanto se procesan para su aprovechamiento, tratamiento o disposición final.

*Todo lugar destinado al almacenamiento de residuos peligrosos deberá contar con autorización sanitaria de instalación y deberá tener suficiente capacidad de almacenamiento para la totalidad de los residuos peligrosos generados o recibidos durante el período previo al envío de éstos a una Instalación de Manejo de Residuos Peligrosos.*

*El período de almacenamiento no podrá exceder de XX meses, sin embargo, el Generador o el Destinatario de los residuos peligrosos, en casos justificados, podrá solicitar a la Autoridad Sanitaria, una extensión de dicho período por un lapso igual al anterior, para lo cual deberá presentar un informe técnico sobre la materia.*

En Chile se menciona que: *Mientras no exista en el territorio nacional una instalación capaz de dar tratamiento o disposición final a determinado tipo de residuos peligrosos, o cuando la implementación o el acceso a tales instalaciones dentro o fuera del país no sea posible a juicio de la autoridad sanitaria, dicha autoridad podrá autorizar el almacenamiento prolongado por períodos definidos a la espera de tratamiento y/o disposición final.*

## **7.2 Etiquetado**

*Estar rotulados indicando, en forma claramente visible, las características de peligrosidad del residuo peligroso almacenado de acuerdo a la Norma Chilena NCh 2.190 Of 93, el proceso en que se originó el residuo, y código de identificación y fecha de puesta en uso del recipiente, bolsa o contenedor en el sitio de almacenamiento.*

En particular, para aquellos residuos cuya composición se desconoce y que presentan una o más características de peligrosidad, se puede emplear alguna de las siguientes designaciones genéricas. Los residuos que presentan la característica de toxicidad por lixiviación serán designados por “Residuo, sustancias sólidas potencialmente peligrosas para el medio ambiente N.E.P.” o “Residuo, sustancias líquidas potencialmente peligrosas para el medio ambiente N.E.P.”, según corresponda.

## **7.3 Contenedores**

Los residuos peligrosos se almacenan en contenedores cerrados y herméticos; resistentes al residuo almacenado y a prueba de filtraciones, con un espesor adecuado y resistente a los esfuerzos producidos durante su carga y traslado; rotulados indicando las características de peligrosidad.

Los residuos se almacenarán en contenedores que permitan su transporte fuera del establecimiento de acuerdo a su estado físico y grupo de embalaje. Esto último, se puede verificarse de acuerdo a lo establecido en la Norma Chilena NCh.2120/Of.98.

## 7.4 Incompatibilidades de Residuos

La mezcla de dos residuos no es compatible cuando se produce alguno de los efectos siguientes:

Generación de calor mediante una reacción química

Se produce fuego por reacciones extremadamente exotérmicas; inflamación de la mezcla o de los productos de reacción

Generación de gases inocuos tales como  $N_2$ ,  $CO_2$ , etc. pero pueden romperse contenedores cerrados por el aumento de presión

Generación de gases tóxicos tales como HCN,  $H_2S$ , etc.

Generación de gases inflamables tales como  $H_2$ ,  $C_2H_2$ , etc.

Se produce una explosión debido a reacciones extremadamente vigorosas o por reacciones que producen suficiente calor para detonar reactantes o productos de reacción inestables

Se produce una polimerización violenta que resulta en la generación de calor extremo y en lagunas oportunistas de gases tóxicos e inflamables

Solubilización de sustancias tóxicas incluyendo metales

*Para los efectos de almacenamiento, transporte y disposición final de residuos peligrosos, se deberá tener en cuenta lo siguiente:*

*15.1 Sólo se podrá mezclar o poner en contacto residuos para los cuales, luego de su respectiva caracterización físico-química, se haya determinado que son de naturaleza similar o compatible de acuerdo a los grupos A y B señalados en el Anexo IV "Tabla de Incompatibilidades".*

**Anexo IV: TABLA DE INCOMPATIBILIDADES**

<b>GRUPO A-1</b>	<b>GRUPO B-1</b>
- Lodo de acetileno	- Lodos ácidos
- Líquidos fuertemente alcalinos	- Soluciones ácidas
- Líquidos de limpieza alcalinos	- Ácidos de batería
- Líquidos alcalinos corrosivos	- Líquidos diversos de limpieza
- Líquido alcalino de batería	- Electrólitos ácidos
- Aguas residuales alcalinas	- Líquidos utilizados para grabar metales
- Lodo de cal y otros álcalis corrosivos	- Componentes de líquidos de limpieza
- Soluciones de cal	- Baños de decapado y otros ácidos corrosivos
- Soluciones cáusticas gastadas	- Ácidos gastados
	- Mezcla de ácidos residuales
	- Ácido sulfúrico residual
<b>Efectos de la mezcla de residuos del GRUPO A-1 con los del GRUPO B-1: generación de calor, reacción violenta.</b>	

<b>GRUPO A-2</b>	<b>GRUPO B-2</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Residuos de asbesto</i></li> <li>- <i>Residuos de berilio</i></li> <li>- <i>Embalajes vacíos contaminados con plaguicidas</i></li> <li>- <i>Residuos de plaguicidas</i></li> <li>- <i>Otras sustancias tóxicas</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Solventes de limpieza de componentes electrónicos</i></li> <li>- <i>Explosivos obsoletos</i></li> <li>- <i>Residuos de petróleo</i></li> <li>- <i>Residuos de refinerías</i></li> <li>- <i>Solventes en general</i></li> <li>- <i>Residuos de aceite y otros residuos inflamables y explosivos</i></li> </ul>
<p><b>Efectos de la mezcla de residuos del GRUPO A-2 con los del GRUPO B-2: emisión de sustancias tóxicas en caso de fuego o explosión.</b></p>	

<b>GRUPO A-3</b>	<b>GRUPO B-3</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Aluminio</i></li> <li>- <i>Berilio</i></li> <li>- <i>Calcio</i></li> <li>- <i>Litio</i></li> <li>- <i>Potasio</i></li> <li>- <i>Sodio</i></li> <li>- <i>Zinc en polvo, otros metales reactivos e hidruros metálicos</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Residuos del GRUPO A-1 o B-1</i></li> </ul>
<p><b>Efectos de la mezcla de residuos del GRUPO A-3 con los del GRUPO B-3: fuego o explosión, generación de hidrógeno gaseoso inflamable.</b></p>	

<b>GRUPO A-4</b>	<b>GRUPO B-4</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alcoholes</li> <li>- Soluciones acuosas en general</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Residuos concentrados de los GRUPOS A-1 o B-1</li> <li>- Calcio</li> <li>- Litio</li> <li>- Hidruros metálicos</li> <li>- Potasio</li> <li>- SO<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, SOCl<sub>2</sub>, PCl<sub>3</sub>, CHSiCl<sub>3</sub> y otros residuos reactivos con agua</li> </ul>
<p><b>Efectos de la mezcla de residuos del GRUPO A-4 con los del GRUPO B-1: Fuego, explosión o generación de calor, generación de gases inflamables o tóxicos.</b></p>	

<b>GRUPO A-5</b>	<b>GRUPO B-5</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alcoholes</li> <li>- Aldehidos</li> <li>- Hidrocarburos halogenados</li> <li>- Hidrocarburos nitrados y otros compuestos reactivos, y solventes</li> <li>- Hidrocarburos insaturados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Residuos del GRUPO A-1 o B-1</li> <li>- Residuos del GRUPO A-3</li> </ul>
<p><b>Efectos de la mezcla de residuos del GRUPO A-5 con los del GRUPO B-5: fuego, explosión o reacción violenta.</b></p>	

<b>GRUPO A-6</b>	<b>GRUPO B-6</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soluciones gastadas de cianuros o sulfuros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Residuos del GRUPO B-1</li> </ul>
<p><b>Efectos de la mezcla de residuos del GRUPO A-6 con los del GRUPO B-6: fuego, explosión o reacción violenta.</b></p>	

<b>GRUPO A-7</b>	<b>GRUPO B-7</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Cloratos y otros oxidantes fuertes</i></li> <li>- <i>Cloro</i></li> <li>- <i>Cloritos</i></li> <li>- <i>Ácido crómico</i></li> <li>- <i>Hipocloritos</i></li> <li>- <i>Nitratos</i></li> <li>- <i>Ácido nítrico humeante</i></li> <li>- <i>Percloratos</i></li> <li>- <i>Permanganatos</i></li> <li>- <i>Peróxidos</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Ácido acético y otros ácidos orgánicos</i></li> <li>- <i>Ácidos minerales concentrados</i></li> <li>- <i>Residuos del GRUPO B-2</i></li> <li>- <i>Residuos del GRUPO A-3</i></li> <li>- <i>Residuos del GRUPO A-5 y otros residuos combustibles inflamables</i></li> </ul>
<b>Efectos de la mezcla de residuos del GRUPO A-7 con los del GRUPO B-7: fuego, explosión o reacción violenta.</b>	

La incompatibilidad entre mezclas binarias de residuos se determina a través de la siguiente figura.



Grupo de Reacción	Nombre de Grupo de Reactividad	Grupo de Reacción	Nombre de Grupo de Reactividad
1	Acidos minerales no oxidantes	22	Otros metales elementales y aleaciones en forma de polvos, vapores, o esponjas
2	Acidos minerales oxidantes	23	Otros metales elementales y aleaciones en forma de láminas, tubos, molduras, etc.
3	Acidos orgánicos	24	Metales y compuestos metálicos tóxicos
4	Alcoholes y glicoles	25	Nitruros
5	Aldehidos	26	Nitrilos
6	Amidas	27	Compuestos nitro orgánicos
7	Aminas alifáticas y aromáticas	28	Hidrocarburos alifáticos insaturados
8	Hidrazinas y compuestos azo y diazo	29	Hidrocarburos alifáticos saturados
9	Carbamatos	30	Peróxidos e hidroperóxidos orgánicos
10	Compuestos cáusticos	31	Fenoles y cresoles
11	Cianuros	32	Organofosfatos, fosfotioatos, fosfoditioatos
12	Ditiocarbamatos	33	Sulfuros inorgánicos
13	Esteres	34	Epóxidos
14	Eteres	101	Materiales misceláneos combustibles e inflamables
15	Fluoruros inorgánicos	102	Explosivos
16	Hidrocarburos aromáticos	103	Compuestos polimerizables
17	Compuestos orgánicos halogenados	104	Agentes oxidantes fuertes
18	Isocianatos	105	Agentes reductores fuertes
19	Cetonas	106	Agua y mezclas que contienen agua
20	Mercaptanos y otros sulfuros orgánicos	107	Sustancias que reaccionan con el agua
21	Metales elementales, alcalinos y alcalino térreos		

En términos generales, residuos incompatibles no deben ser colocados en el mismo contenedor, como tampoco se debe colocar un residuo en un contenedor que pueda ser incompatible con el residuo.

## 7.5 Consideraciones de Contención

Las áreas de almacenamiento de contenedores deben tener un sistema de contención que obedezca a las siguientes indicaciones<sup>19</sup>:

una base libre de perforaciones o hendeduras debe extenderse debajo de los contenedores, y debe ser lo suficientemente impermeable para contener filtraciones, derrames y agua lluvia acumuladas hasta que el material recolectado sea detectado y removido;

la base debe tener una pendiente o la instalación debe ser operada para drenar y remover los líquidos resultantes de fugas, derrames o acumulación de agua lluvia, a menos que los contenedores estén en posición elevada o estén imposibilitados de alguna otra manera de entrar en contacto con los líquidos acumulados;

el sistema de contención debe ser diseñado con capacidad suficiente para contener un 10% del volumen de los contenedores o el volumen del contenedor más grande, cualquiera sea el mayor de los valores (los contenedores que no contienen líquidos libres no necesitan ser considerados en esta determinación);

los escurrimientos hacia el sistema de contención deben ser evitados a menos que el sistema de recolección tenga la capacidad suficiente; y

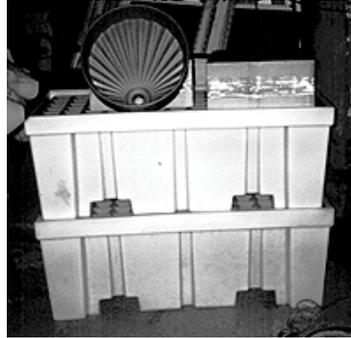
si el material recolectado es un residuo peligroso, debe ser manejado correspondientemente.

---

<sup>19</sup> Louisiana Administrative Code. Title 33. Environmental Quality. Part V. Hazardous Waste and Hazardous Materials. Subpart 1. Department of Environmental Quality - Hazardous Waste. Chapter 21. Containers. §2111. Containment.



*Pallet* para contenedor.



*Pallet* diseñado para ofrecer contención secundaria a dos tambores de 55 galones



Contenedor de residuos peligrosos en un laboratorio.

Las áreas que almacenan contenedores que tienen solamente residuos que no tienen líquidos libres, no necesitan tener un sistema de contención si:

el área de almacenamiento tiene pendiente o es operada de manera de drenar y remover el líquido resultante de precipitaciones; o

los contenedores están elevados o están protegidos de alguna otra manera de entrar en contacto con el líquido acumulado.

## **7.6 Diseños patentados**

Existe una gran variedad de diseños patentados de contenedores. En cualquier caso es importante establecer el grado de protección que estos ofrecen contra la corrosión y la degradación del material. Algunos sistemas no proveen contención secundaria y deben ser considerados como estanques primarios de almacenamiento.

## **7.7 Diseño y normas de operación Bodega de contención**

La unidad de almacenamiento de residuos peligrosos debe ser una estructura totalmente cerrada y auto soportante, que está diseñada y construida de materiales

sintéticos de suficiente resistencia y grosor como para soportarse a si mismos, los residuos en ella contenido, a los operarios y maquinarias pesadas que operan dentro de la unidad, y capaces de evitar deterioros debido a los gradientes de presión, asentamientos, compresión, levantamientos, al contacto físico con los residuos peligrosos a los cuales está expuesta, a las condiciones climáticas, y al esfuerzo diario al que es sometida por el movimiento de máquinas pesadas dentro de la unidad y el contacto de tal equipamiento con las paredes de contención<sup>20</sup>; y

debe tener una barrera primaria que ha sido diseñada para ser lo suficientemente duradera como para soportar el movimiento de los operarios, de los residuos y de los equipos usados en el manejo dentro de la unidad.



Cuando la instalación será usada para manejar líquidos:

---

<sup>20</sup> Louisiana Administrative Code. Title 33. Environmental Quality. Part V. Hazardous Waste and Hazardous Materials. Subpart 1. Department of Environmental Quality - Hazardous Waste. Chapter 18. Containment Buildings. §1801. Applicability.

debe tener una barrera primaria diseñada y construida de materiales que eviten la migración de constituyentes peligrosos hacia la barrera;

debe tener un sistema de recolección de líquidos diseñado y construido de materiales que minimizen la acumulación de líquido en la barrera primaria;

debe tener un sistema de contención secundaria diseñado y construido de materiales que eviten la migración de constituyentes peligrosos hacia la barrera, con sistemas de detección de filtraciones y de recolección de líquidos capaz de detectar, recolectar y remover filtraciones de constituyentes peligrosos tan pronto como sea posible; y

debe ser diseñada y operada de manera tal que se asegure la contención y se evite el arrastre de materiales desde la unidad por los operarios o equipos.

Las bodegas de contención deberían cumplir con las siguientes normas<sup>21</sup>:

la bodega debe ser completamente cerrada y debe tener un techo, paredes, y suelo que eviten la exposición a elementos tales como el viento y precipitaciones, y que asegure la contención de los residuos manejados;

todas las superficies que estarán en contacto con los residuos peligrosos deben ser de material químicamente compatible con dichos residuos; y

---

<sup>21</sup> Louisiana Administrative Code. Title 33. Environmental Quality. Part V. Hazardous Waste and Hazardous Materials. Subpart 1. Department of Environmental Quality - Hazardous Waste. Chapter 18. §1802. Design and Operating Standards.

los residuos peligrosos incompatibles no deben ser colocados en la unidad si estos podrían causar que la bodega o el sistema de contención secundaria, se filtre, corroa, o se deteriore de alguna otra manera.

Se recomienda además obedecer las siguientes indicaciones<sup>22</sup>:

las bodegas de almacenamiento deben estar secas, bien ventiladas y suficientemente iluminadas;

el suelo y las paredes hasta una altura de 180 cm deben ser impermeables a los residuos peligrosos almacenados en el área;

no deben haber instalaciones de agua o dispositivos para calentar agua u otro líquido; y

la bodega debe estar equipada con instrumentos de primeros auxilios adecuados.

**Cierre:** Al cerrar una bodega de contención, se deben retirar (o descontaminar) todos los restos de residuos, componentes contaminados del sistema de contención (por ejemplo, revestimientos), subsuelos contaminados, y estructuras y equipos contaminados con residuos y lixiviado, y deben ser manejados como residuos peligrosos<sup>23</sup>.

---

<sup>22</sup> Decree of the Government of the Czech Republic on Details of Waste Handling, Decree 513/92, September 23, 1992. Collection and Storage of Hazardous Waste.

<sup>23</sup> Louisiana Administrative Code. Title 33. Environmental Quality. Part V. Hazardous Waste and Hazardous Materials. Subpart 1. Department of Environmental Quality - Hazardous Waste. Chapter 21. Containers. §1803. Closure and Post-closure Care.

Si no es posible retirar o descontaminar todos los sub-suelos contaminados, para efectos de cierre, post cierre y responsabilidad financiera, tal instalación es entonces considerada un vertedero y deben satisfacerse los requisitos respectivos.

## 7.8 Plan de acción contra derrames

Todas las instalaciones donde se almacenen residuos peligrosos deben desarrollar y mantener un plan de acción contra derrames. El plan debe ser corto, con instrucciones claras que puedan ser entendidas por todos los operarios. Los componentes del plan de prevención de rescate deben tratar los siguientes:

*Quién* – Identificar claramente quien es responsable de tomar cuales medidas. Las medidas de acción deben incluir el uso de equipos y el contactarse con las agencias de emergencia. El plan debe contener una lista, actualizada periódicamente, de números de teléfono de emergencia que deben ser usados en caso de un derrame. Se debe designar a una persona como el vocero oficial de la instalación.

*Qué* – Que acciones deben tomarse durante un derrame de residuos y, considerando las amenazas posibles, que equipos deben ser usados. Se debe incluir información de que tipo de equipos para derrames están disponibles en la instalación y cuales son sus características y capacidades.

*Cuando* – Cuando deben ser llamados agentes adicionales por asistencia. Cuando serán los equipos inspeccionados y reemplazados, si es necesario. Debe establecerse un programa de práctica y mantención para los equipos.

*Donde* – Donde está el material dentro de la instalación. Identificar fuentes donde equipos adicionales pueden ser obtenidos de forma expedita, si es necesario.

*Cómo* – Explicar como se debe usar el equipamiento y su disposición.

Hay dos tipos de derrames: **derrames simples**, que puede limpiar uno mismo, y **derrames complejos**, que requieren de ayuda externa.

Para determinar si un derrame es **simple** o **complejo**, se debe determinar (1) el peligro que presenta el químico derramado y (2) el impacto potencial del derrame. Ambos factores son en gran medida determinados por el tamaño del derrame. La información que ayuda en la determinación del tipo de derrame es:

el tipo de químico derramado,

la cantidad,

las características de peligrosidad del químico derramado,

la ubicación,

el método adecuado para limpiar el derrame,

la disponibilidad de equipos de protección personal, y

el entrenamiento de los profesionales en el laboratorio.

## **8 TRANSPORTE RP**

Se entiende como transportista a cualquier persona encargada del transporte fuera del sitio de generación. Puede utilizarse cualquier medio, como aire, tren, carreteras, o agua. Incluye requerimientos para el transporte de HW, firma y transferencia de manifiestos, control sobre estaciones de transferencia, etc.

*Sólo podrán transportar residuos peligrosos fuera del recinto de generación aquellas personas naturales o jurídicas que hayan sido autorizadas para tales fines por la Autoridad Sanitaria. Dicha autorización será otorgada por la Autoridad Sanitaria en donde el transportista tenga instalaciones operativas y tendrá validez en todo el territorio nacional*

*Sin perjuicio de lo anterior, el transportista que requiera de instalaciones adicionales en la jurisdicción de otro Servicio de Salud, requerirá para dichas instalaciones la autorización del Servicio de Salud respectivo.*

*El transportista sólo podrá efectuar el transporte de los residuos peligrosos en vehículos adecuados para el tipo, características de peligrosidad y estado físico de los residuos a transportar, conforme a la información que sobre éstos le debe proporcionar el generador de los residuos peligrosos.*

El residuo peligroso debe ser empaquetado en forma apropiada, con materiales de almacenamiento que sean compatibles con el residuo almacenado. Todos los contenedores deben estar apropiadamente rotulados con el nombre del generador y su dirección. Lo anterior permitirá un seguimiento del residuo en todo momento a través de un sistema de manifiesto; además permitirá establecer las medidas de seguridad apropiadas al tipo de residuo:



**ACETONE 67-64-1**  
**FLAMMABLE. NO HEAT-FLAME-SPARKS.**  
**WARNING DON'T INHALE. INGEST OR SKIN ABSORB.**

<b>HEALTH HAZARD</b> 4- Lethal 3- Extremely dangerous 2- Hazardous 1- Slight hazard 0- No hazard		<b>FIRE HAZARD (Flash Points)</b> 4- Below 73°F 3- Below 100°F 2- Below 200°F 1- Above 200°F 0- Won't burn
<b>SPECIFIC HAZARD</b> OXY-Oxidizer ACID-Acid ALK-Alkali CORR-Corrosive W-Use no water R-Radiation		<b>REACTIVITY</b> 4- May detonate 3- May detonate with shock & heat 2- Chemical change may be violent 1- Unstable if heated 0- Stable

CONSULT CORRESPONDING MSDS FOR FURTHER HAZARDOUS INFORMATION AND INSTRUCTIONS



IRRITANT. WATER FLUSH EYES/SKIN TO DECONTAMINATE. KEEP FIREPROOF - AWAY FROM OXIDANTS. USE PPE. GOOD VENTILATION.. AVOID AIR VAPOR MIX.

© Copyright 1994 NF-4

9600100-3-00000 RECID: 00001  
**BENZENE**  
 AMT.: 1.0000 L CAREA: XXX01

**PROPANE**

NFPA HAZARD RATING

HEALTH HAZARD: 4 - Severe, 3 - Serious, 2 - Moderate, 1 - Slight, 0 - Minimal  
 FIRE HAZARD: 4 - Severe, 3 - Serious, 2 - Moderate, 1 - Slight, 0 - Minimal  
 REACTIVITY: 4 - May detonate, 3 - May detonate with shock & heat, 2 - Chemical change may be violent, 1 - Unstable if heated, 0 - Stable

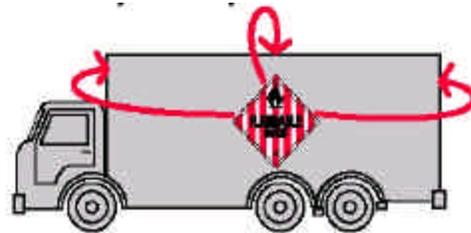
CONSULT CORRESPONDING MSDS FOR FURTHER INFORMATION AND INSTRUCTIONS.

AFFIX TO ALL PORTABLE CONTAINERS USED BY COMMERCIAL CUSTOMERS

PERSONAL PROTECTION: Goggles, Gloves

HZ 116

**LABEL SPECIFICATIONS**



**Inhalation Hazard Warning**  
**Primary Hazard Class Warning**  
**Subsidiary Hazard Class Warning**



## **8.1 Manifiesto**

El propósito de un sistema de manifiesto uniforme para residuos peligrosos es tener un mecanismo de seguimiento que quede documentado desde el origen hasta el destino final de este residuo. Un manifiesto es requerido de cualquier generador de residuos peligrosos que transporta su residuo.

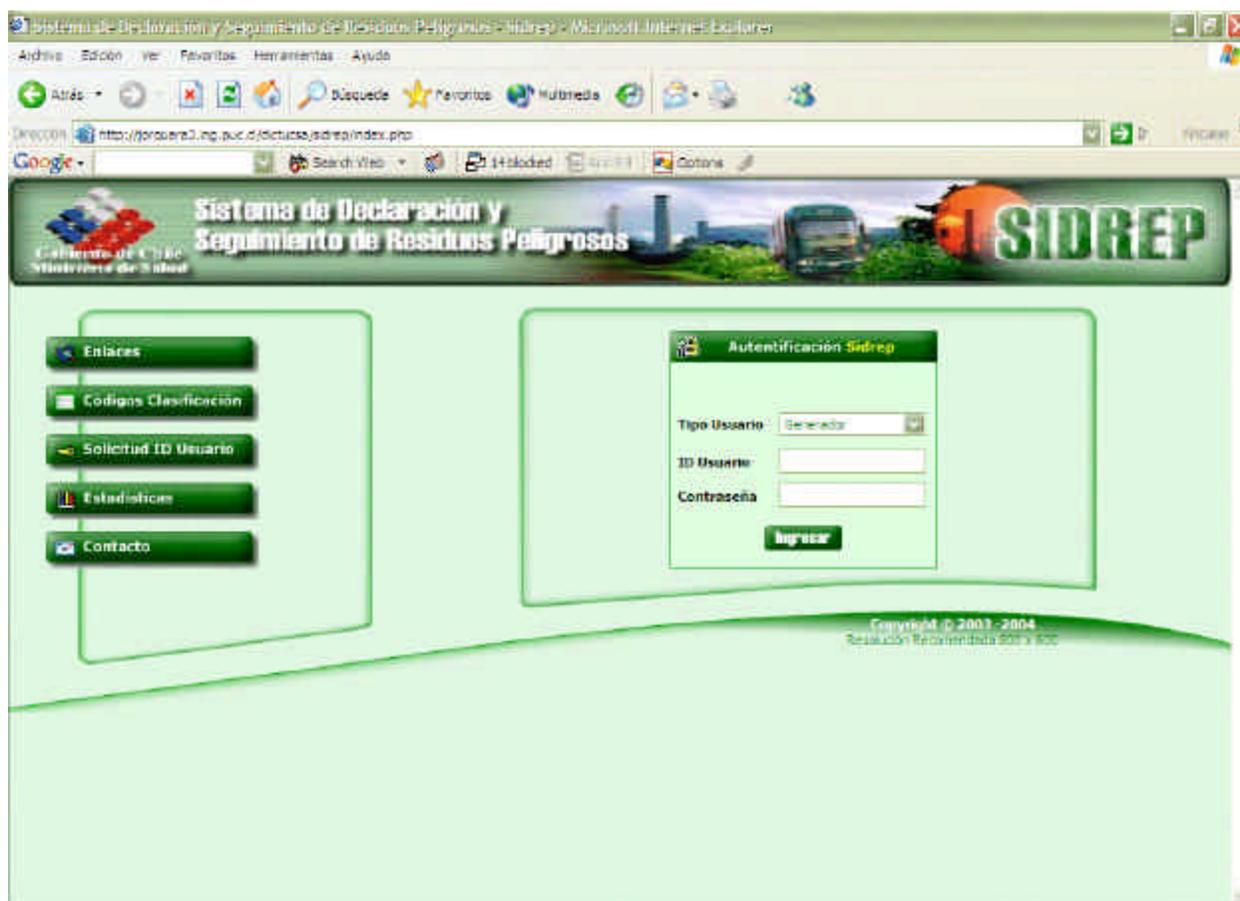
*No se podrá transportar residuos peligrosos sin que se porte el respectivo Documento de Declaración, en la forma y contenidos señalados en el Título VI del presente reglamento, y sin que se porte las respectivas hojas de seguridad.*





**DIPLOMADO RESIDUOS SÓLIDOS\_ RESIDUOS PELIGROSOS / ALFREDO RIHM (2004)**

<b>GENERADOR</b>								
1. Nombre Empresa:			4. Persona Responsable:					
2. RUT:		3. N° de Identificación:		6.1 Teléfono				
5. Dirección			6.2 FAX:					
5.1 Comuna								
7	Nombre del Residuo Peligroso	Código(s) del Residuo Peligroso	8	Cantidad		9	Contenedores	
				Kilogramos	Litros		Tipo	Número
71			81			91		
72			82			92		
73			83			93		
74			84			94		
75			85			95		
76			86			96		
77			87			97		
78			88			98		
10. Empresa Transportista:			12. Planta Destinataria:					
11. Identificación Vehículo (Patente):			14. Firma:		15. Fecha:			
13. Observaciones:								
<b>TRANSPORTISTA</b>								
16. Nombre Empresa:			19. Persona Responsable:					
17. RUT:		18. N° de Identificación:						
20. Dirección:			21.1 Teléfono					
20.1 Comuna			21.2 FAX:					
22. Identificación Vehículo (Patente):			23. Cantidad Transportada:		26. Fecha:			
24. Observaciones:			25. Firma:					
<b>DESTINATARIO</b>								
27. Nombre Empresa:			30. Persona Responsable:					
28. RUT:		29. N° de Identificación:						
31. Dirección:			32. Teléfono y FAX:					
31.1 Comuna								
33. Identificación Vehículo (Patente):			34. Cantidad Recibida:					



*Cada Servicio de Salud implementará el Sistema de Declaración y Seguimiento de Residuos Peligrosos descrito en los artículos siguientes, el que será aplicable a todos los Generadores, Transportistas y/o Destinatarios de residuos peligrosos en su jurisdicción, además los Servicios de Salud mantendrán un registro de dichos Generadores, Transportistas y Destinatarios.*

*Para los efectos del sistema de declaración y seguimiento, se entenderá por Documento de Declaración, al formulario, debidamente llenado, que acompaña al residuo peligroso desde que el Generador hace entrega de el a un Transportista en el punto de generación hasta su entrega a un Destinatario.*

*Todo residuo sólido peligroso desde el momento que abandona el establecimiento generador y hasta su destino final, debe estar acompañado del correspondiente Documento de Declaración. Este documento contendrá información específica respecto del residuo peligroso, como también antecedentes identificatorios del Generador, Transportista y Destinatario del*

## **8.2 El Convenio de Basilea**

Se trata de un acuerdo firmado entre varias naciones para regular el transporte internacional de residuos peligrosos, para evitar la utilización del transporte como una “tecnología de eliminación” de residuos para determinadas naciones en perjuicio de otros.

El Convenio de Basilea es un tratado ambiental global que regula estrictamente el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y estipula obligaciones a las Partes para asegurar el manejo ambientalmente racional de los mismos, particularmente su disposición.

El Convenio de Basilea fue adoptado el 22 de marzo de 1989 y entró en vigor el 5 de mayo de 1992. El Convenio es la respuesta de la comunidad internacional a los problemas causados por la producción mundial anual de 400 millones de toneladas de desechos peligrosos para el hombre o para el ambiente debido a su características tóxicas/ecotóxicas, venenosas, explosivas, corrosivas, inflamables o infecciones.

El Convenio reconoce que la forma más efectiva de proteger la salud humana y el ambiente de daños producidos por los desechos se basa en la máxima reducción de su generación en cantidad y/o en peligrosidad. Los principios básicos del Convenio de Basilea son:

*el tránsito transfronterizo de desechos peligrosos debe ser reducido al mínimo consistente con su manejo ambientalmente apropiado;*  
*los desechos peligrosos deben ser tratados y dispuestos lo más cerca posible de la fuente de su generación;*  
*los desechos peligrosos deben ser reducidos y minimizados en su fuente.*

Para lograr estos principios, la Convención pretende a través de su Secretaría controlar los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos, monitorear y prevenir el tráfico ilícito, proveer asistencia en el manejo ambientalmente adecuado de los desechos, promover la cooperación entre las Partes y desarrollar Guías Técnicas para el manejo de los desechos peligrosos.

## 9 TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

Algunos residuos peligrosos pueden ser tratados para el propósito de eliminar, o al menos reducir en forma *importante sus características de peligrosidad*. A menudo *tratamientos basados en técnicas conocidas, tanto químicas, físicas o biológicas son capaces de cumplir este objetivo*. Dichas técnicas pueden separarse en **tecnologías de concentración, tecnologías de desintoxicación (o mejora de calidad) y tecnologías de fijación/solidificación**.

*El diseño de las **Instalaciones de Manejo de Residuos Peligrosos**, destinadas a su eliminación, comercialización o almacenamiento prolongado deberá contemplar todas aquellas medidas necesarias para evitar que la descarga accidental de residuos peligrosos o sus subproductos signifiquen una contaminación de las aguas superficiales o subterráneas, el aire o del suelo, capaz de poner en riesgo la salud de la población y/o la del personal que trabaja en la instalación,.*

*Toda **Instalación de Manejo de Residuos Peligrosos** deberá contar con un proyecto previamente aprobado por la Autoridad Sanitaria, el que deberá ser elaborado por un Ingeniero de alguna de las especialidades de la Ingeniería Civil.*

*El proyecto deberá describir todas las operaciones y especificar el diseño de las unidades y equipos necesarios para el manejo de los residuos peligrosos, debiéndose indicar expresamente el tipo, características y cantidades de los residuos peligrosos que la Instalación estará capacitada para recibir y manejar, así como los perfiles profesionales y técnicos y las funciones y responsabilidades específicas de todos los funcionarios que requerirá la operación de la Instalación.*

*El proyecto deberá contar, además, con un **Plan de Verificación**, un **Plan de Contingencia**, un **Manual de Procedimientos** y un **Plan de Cierre** de acuerdo a lo señalado en este Párrafo I del Título V del presente reglamento.*



*Para proceder a la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase, será necesaria la aprobación previa del proyecto por el Servicio Nacional de Salud (hoy servicios de salud)".*

Este precepto es complementado por el Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo, que exige que tal autorización sanitaria respecto de los lugares de tratamiento de basuras, sea exigible tanto si el tratamiento se realiza en la propia empresa o fuera de ella.

Adicionalmente, en la Ley sobre bases generales del medio ambiente se establece que los sistemas de tratamiento de los residuos industriales sólidos deberán someterse al SEIA.

Sin embargo, no existen normas adicionales que rigen el tratamiento de los residuos, ya que las se aplican provienen directamente de las condiciones impuestas por la autoridad sanitaria en el contexto del ejercicio de sus atribuciones, como asimismo, aquellas que pueden exigirse en la evaluación ambiental de proyectos, lo que ha sucedido precisamente con las plantas de tratamiento de residuos industriales que se han sometido voluntariamente al SEIA.

Algunos residuos peligrosos pueden ser tratados para el propósito de eliminar, o al menos reducir en forma importante sus características de peligrosidad. A menudo tratamientos basados en técnicas conocidas, tanto químicas, físicas o biológicas son capaces de cumplir este objetivo. Dichas técnicas pueden separarse en *tecnologías de concentración*, *tecnologías de desintoxicación* y *tecnologías de fijación/solidificación*.

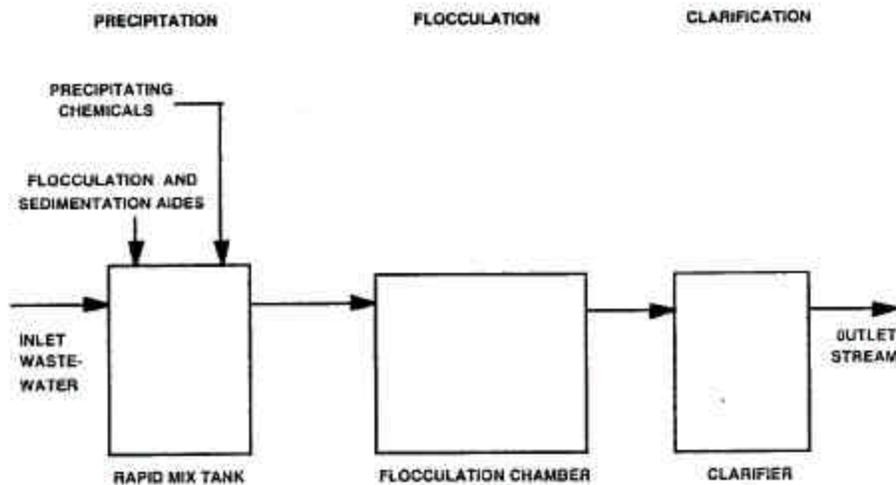
### 9.1 Tecnologías de Concentración

Su objetivo es reducir el volumen de residuos peligrosos. Generalmente esta etapa va antes de la de desintoxicación. Generalmente son tratamientos del tipo físico químico

Grupos De Técnicas De Concentración	Ejemplos
Remoción Gruesa De Contaminantes	Precipitación
	Sedimentación
	Flotación
	Clarificación
	Separación De Aceite Líquido
Secado De Sólidos	Centrifugación
Pulido	Filtración
	Evaporación
	Intercambio Iónico
	Ósmosis Inversa

### 9.1.1 Precipitación (Tratamiento Físico Químico)

Líquidos conteniendo metales pesados en solución pueden ser tratados por el aumento de pH utilizando cal. El hidróxido ( $\text{OH}^-$ ) reacciona con los cationes de metal formando compuestos insolubles que precipitan y forman flocs. El proceso es complementado con una solidificación o otro proceso de *inmovilización* de los iones metálicos.



### 9.2 Técnicas de Desintoxicación

Después de los procesos anteriores es usual un producto final que es tóxico y debe ser tratado. El propósito de la desintoxicación es reducir la toxicidad, por lo cual la mayoría de los procesos involucran oxidación de una forma u otra. Las técnicas de desintoxicación son generalmente procesos químicos y/o biológicos, más que físicos. Algunos ejemplos son: biodegradación, neutralización, oxidación-reducción e incineración.

En el incinerador se destruyen los componentes orgánicos de los residuos alimentados. La remoción de otros contaminantes, tales como, material particulado, metales y ácido clorhídrico es conseguida a través del uso de un sistema de control de la contaminación atmosférica.

*Toda Instalación destinada a la destrucción térmica de residuos peligrosos deberá contar con un proyecto previamente aprobado por la Autoridad Sanitaria.*

*La operación de todo incinerador deberá ajustarse a lo establecido en el presente reglamento y a las condiciones específicas que fijará la Autoridad Sanitaria a través de la autorización de instalación correspondiente.*

*En la respectiva autorización de instalación de toda planta de incineración, la Autoridad Sanitaria determinará los tipos y las cantidades de residuos peligrosos que podrán tratarse en la Instalación, así como su capacidad total.*

*La autorización de instalación para la Instalación Incineración se otorgará únicamente si en el respectivo proyecto se demuestra que:*

*los quemadores de residuos peligrosos estarán colocados y los residuos se añadirán de tal manera que se obtenga una incineración tan completa como sea posible, y*

*se cumplirán las normas de emisión vigentes*

*Por otra parte, la Autoridad Sanitaria determinará los flujos mínimos y máximos de masa de dichos residuos peligrosos, sus valores caloríficos mínimos y máximos y su contenido máximo de sustancias peligrosas, por ejemplo PCB, PCP, cloro, flúor, azufre y metales pesados.*

*La incineración de residuos peligrosos en instalaciones que no estén destinadas principalmente a la quema de residuos peligrosos, tal como es el caso de los hornos cementeros, sólo se podrá realizar si el calor liberado por los residuos no supera el 40% del calor total liberado en la instalación en cualquier momento durante su operación.*

*A los seis meses de haber comenzado las operaciones de incineración, se deberá demostrar mediante la comparación de los resultados de mediciones tomadas en*

*las condiciones más desfavorables, que se cumplen con las normas de emisión vigentes.*

*Las instalaciones de incineración de residuos peligrosos se operarán de modo que se obtenga una incineración tan completa como sea posible. Para lo cual se deberá cumplir que la Eficiencia de Combustión no sea inferior, en ningún momento, a un 99,9%.*

*EF = Eficiencia de Combustión*

$$EF = (1 - CO/CO_2) \times 100$$

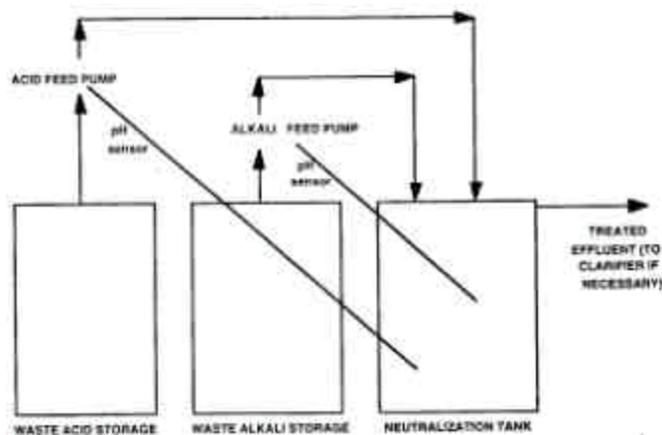
*Todas las instalaciones de incineración serán diseñadas, equipadas y funcionarán de modo que la temperatura de los gases derivados de la incineración de los residuos peligrosos se eleve, tras la última inyección de aire de combustión, de manera controlada y homogénea e incluso en las condiciones más desfavorables, hasta por lo menos 850 °C, alcanzados en o cerca de la pared interna de la cámara de combustión, como mínimo durante dos segundos con un 6 % como mínimo de oxígeno. En el caso de la incineración de residuos peligrosos que contengan más del 1 % en masa de sustancias orgánicas halogenadas, expresadas en cloro, la temperatura deberá elevarse hasta por lo menos 1.100 °C.*

*Todas las instalaciones de incineración estarán diseñadas, equipadas y funcionarán de modo que impidan emisiones a la atmósfera que provoquen una contaminación atmosférica considerable a nivel del suelo; por lo que los gases emitidos serán liberados de modo controlado a través de una chimenea. La altura de la chimenea se calculará de modo que la salud humana quede protegida.*

*En caso de que las mediciones efectuadas indiquen que se han sobrepasado los valores límite establecidos en la respectiva norma de emisión, se informará de inmediato a la Autoridad Sanitaria. La instalación no podrá alimentarse con residuos peligrosos hasta que la autoridad sanitaria permita continuar la incorporación de dichos residuos.*

### 9.2.1 Neutralización (Tratamiento Físico Químico)

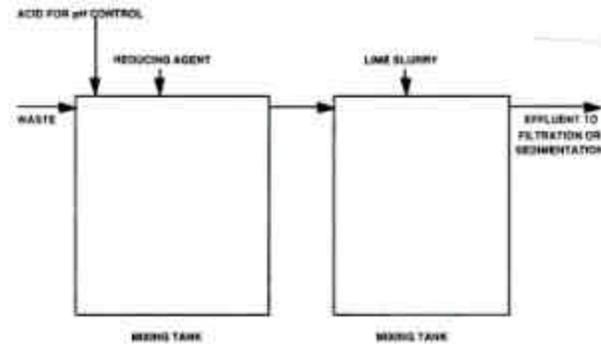
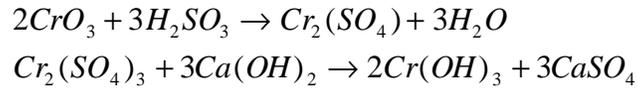
Residuos líquidos muy ácidos o muy alcalinos pueden ser tratados por ajuste de pH a 7, mediante el agregado de soluciones alcalinas o ácidas. Esta situación podría ser fácilmente enfrentada por una industria que en su proceso productivo contara con residuos de ambas características. En caso que una industria sólo cuente con un tipo de residuo, o ácido o básico, deberá adquirir la sustancia complementaria en caso que desee realizar un tratamiento in-situ (on-site treatment). Por lo anterior existen organizaciones denominadas **Bolsas de Residuos** (Waste Exchanges), en las que se realizan cambios y ventas de residuos.



### 9.2.2 Oxidación y Reducción (Tratamiento Físico Químico)

La toxicidad de algunos compuestos depende de su estado de oxidación. Cuando el estado de oxidación se incrementa por la remoción de electrones o decrece por la adición de los mismos, el resultado puede ser una forma menos tóxica. Por ejemplo el cromo hexavalente  $\text{Cr}^{+6}$  es un compuesto altamente tóxico (aparece en

el listado TC). Aparece en procesos de curtiembre y plateado. Sin embargo el cromo trivalente  $Cr^{+3}$  es comparativamente mucho menos tóxico. Por adición de cal, el cromo puede precipitar de solución a hidróxido de cromo.



### 9.2.3 Tratamientos De Biodegradación, Tratamiento Biológico Y Disposición En Tierra (Químico-Biológico)

Ciertos microorganismos pueden usar como fuente de alimento diesel, PCB, aceites y sustancias similares. La **biodegradación y/o bioremedación** se está volviendo una técnica de desintoxicación popular. Existen alternativas de tratamiento in situ o de acarreo y tratamiento fuera del sitio. Actualmente se están realizando muchas investigaciones a este respecto., especialmente en el campo de la ingeniería genética, para crear bacterias más agresivas y más específicas o más amplias según el caso.

El tratamiento biológico es similar al utilizado en aguas servidas. Los tratamientos de landfarming o disposición en tierra son utilizados específicamente para cierto tipo de residuos orgánicos, sin embargo no es un método popular.

### 9.3 TÉCNICAS S/S

En la bibliografía existen una serie de términos que describen la estabilización y solidificación (Stabilization/Solidification), de aquí en adelante S/S (US EPA, 1989). La US EPA entiende S/S como procesos de tratamiento que persiguen conseguir tres objetivos:

Mejorar las condiciones físicas y de manejo de los residuos respecto a su capacidad de retención de líquidos libres.

Disminuir el área superficial de la masa de residuo por la cual la transferencia o pérdida del contaminante pueda verificarse.

Limitar la solubilidad de cualquier constituyente peligroso de los residuos; así por causa de ajuste de pH o por el fenómeno de sorción.

**Estabilización:** El beneficio más directo de S/S es que ellas limitan la solubilidad o movilidad de los contaminantes con o sin cambiar o mejorar las características físicas del residuo. En general S/S implica usualmente la adición de materiales que aseguren que los constituyentes peligrosos son mantenidos en su forma menos móvil o tóxica. La adición de cal (lime) o sulfuros (sulfide) a un hidróxido metálico del residuo con el fin de precipitar los iones metálicos, o la adición de un sorbente a un residuo orgánico son ejemplos de técnicas de estabilización.

Es básicamente una técnica que limita en forma química el potencial de peligrosidad de un residuo, al convertir a los constituyentes a una forma menos soluble (Washington, 1999)

**Solidificación:** La solidificación implica que el efecto beneficiosos del tratamiento son obtenidos fundamentalmente, pero no necesariamente en forma exclusiva, a través de la producción de bloques sólidos de residuos, con una alta estabilidad estructural. Este material sólido suele conocerse como monolito (*monolith*). No necesariamente los contaminantes interactúan químicamente con un reactivo para lograr este estado, sino que pueden ser retenidos (*locked*) mecánicamente dentro

de una matriz sólida. Esto último es conocido como microencapsulación. La pérdida de contaminantes es limitada en forma importante por la disminución del área superficial al medio ambiente y/o el aislamiento de los contaminantes de las influencias medioambientales debido a la microencapsulación de partículas de residuos.

Es básicamente una técnica que limita físicamente la movilidad de residuos por la reducción o eliminación de los líquidos libres en el residuo (Washington, 1999).

**Fijación:** Se refiere al tratamiento de residuos mediante cualquier técnica S/S.

**Inmovilización:** Se refiere a aquellas técnicas que tienden a disminuir la concentración de compuestos tóxicos mediante la unión de estos a la superficie de partículas sólidas.

La tecnología S/S es utilizada comúnmente como el paso final en el tratamiento de residuos peligrosos. Involucra el agregado de uno o más agentes solidificantes al residuo para convertirlo en un sólido monolítico con estabilidad estructural. A través de la S/S el residuo es químicamente estabilizado y físicamente modificado a una matriz sólida de baja permeabilidad. El potencial de lixiviación es por lo tanto reducido.

### 9.3.1 APLICABILIDAD

S/S es una tecnología probada (US EPA, 1989) para el tratamiento de residuos peligrosos y sitios que contengan dichos residuos. Algunas de las razones técnicas para optar por esta tecnología son:

Se mejora las características físicas y de manejo de los residuos, por ejemplo los lodos son procesados como sólidos.

Se reduce la transferencia o pérdida de contaminantes debido a la disminución del área superficial expuesta.

Se reduce la solubilidad del contaminante en el residuo tratado, en general debido a una transformación química.

### 9.3.2 TECNOLOGIAS

Se puede agrupar las técnicas S/S en:

S/S inorgánica

S/S orgánica

#### 9.3.2.1 S/S Inorgánica

**S/S en base cemento:** Es un proceso en el cual los residuos son mezclados con cemento portland. Si no se encuentra presente en cantidad suficiente en el residuo, agua es agregada a la mezcla, con el fin de asegurar una hidratación apropiada que garantice la correcta cementación. Los residuos se incorporan a la matriz del cemento y en algunos casos sufren cambios físico-químicos que inducen en una reducción de su movilización en la matriz residuo-cemento. En general se forman hidróxidos de metal, los cuales son mucho menos solubles que otras especies de metales. En general pequeñas partes de ceniza, silicato de sodio, bentonita o aditivos, son agregados al cemento con el fin de optimizar el proceso. El producto final puede variar de una material de forma granular, de aspecto de un suelo, a un material cohesivo sólido. Esto depende del monto de reactivo usado y de los tipos de residuos sometidos al S/S.

Existe la posibilidad de agregar aditivos, tales como fly ash, escoria de horno de fundición y silicato de sodio son a menudo utilizados para reemplazar parte del cemento, tanto para bajar el costo o para mejorar el rendimiento.

S/S en base cemento ha sido aplicados para tratar residuos conteniendo una variedad de metales, tales como cadmio, cromo, cobre, plomo, níquel y zinc. EL cemento también se ha utilizado para residuos más complejos, conteniendo PCBs, aceites y lodos; residuos conteniendo cloruro de vinilo y dicloruro de etileno;

resinas; asbestos; sulfuros y otros. Estudios desarrollados bajo el programa BDAT en suelos contaminados mostró que esta técnica presenta buenos resultados en arsénico, plomo, zinc, cobre, cadmio y níquel. Según la US EPA (US EPA, 1989) la eficiencia de este proceso en compuestos orgánicos no es conocida.

Los sistemas S/S en base cemento son los más comunes debido a su bajo costo y versatilidad (Poon, 1997).

**S/S puzolánico:** Esta técnica involucra materiales del tipo silicatos y aluminosilicatos, los cuales no presentan un comportamiento de cementación por si solos, pero forman sustancias cementadas, a temperatura ambiente, cuando se combinan con cal o cemento y agua. El mecanismo de retención primordial es el atrapamiento del contaminante en la matriz puzolánica. Los materiales puzolánicos típicos son cenizas, pómez, polvos de hornos y escorias. Las puzolanas contienen importantes niveles de silicatos, lo que los distingue de los materiales en base de cal. El producto puede variar de materiales suaves y finos a materiales altamente cohesivos similares en apariencia al cemento. Las reacciones puzolánicas son, en general, mucho más lentas que las reacciones de cementación. Los tipos de residuos que son tratados con S/S puzolánica incluyen lodos aceitosos (oil sludges), lodos de galvanoplastía conteniendo variedad e metales (aluminio, níquel, cobre, plomo, cromo y arsénico), residuos ácidos y creosota.

### 9.3.2.2 S/S ORGÁNICO

**S/S termoplástica:** La S/S termoplástica es una microencapsulación en la cual los componentes de los residuos no reaccionan químicamente con el material encapsulador, tales como el asfalto (bitumen) o polietileno. En este proceso el material termoplástico es utilizado para contener (*bind*) los componentes de los residuos en una masa estabilizada y solidificada. La protección asfáltica puede ser calentada previa su mezcla con el residuo seco, o el asfalto puede ser aplicado como una mezcla fría. En el último caso, se necesita aplicar compactación con el fin de liberar el agua que rodea las partículas de residuo/agregado. El bitumen

suele tener aplicación comercial en la S/S de suelos contaminados con aceites y gasolinas. En este caso, el suelo contaminado con hidrocarburos es utilizado para diluir el bitumen, el cual es luego utilizado como pavimento o parche para caminos. La consistencia del material que resulte de este proceso es variable y depende de la densidad del hidrocarburo mezclado en el bitumen y el monto de agregado adicionado a la mezcla. La encapsulación termoplástica también puede ser aplicada a lodos de galvanoplastía, lodos de pinturas y refinerías que contengan metales y orgánicos, cenizas de incineración, *fabric filter dust*, y residuos radioactivos.

**Macroencapsulación:** La macroencapsulación es el proceso en el cual el residuo es colocado en un tambor overpack. El residuo es generalmente S/S y en algunas ocasiones microencapsulado previo a ponerlo en el tambor. En el pasado se pensaba que los líquidos podrían ser almacenados en estos tambores, debido a su resistencia a impactos; sin embargo las prohibiciones asociadas a la generación de percolados ha eliminado esta opción (US EPA, 1989).

**S/S polimerización orgánica:** Esta técnica se basa en la formación de polímeros para inmovilizar el compuesto de cuidado. *Urea formaldehyde* es el polímero orgánico más comúnmente usado para este propósito. Esta técnica ha sido utilizada principalmente para residuos radioactivos. También se ha utilizado en residuos peligrosos, tales como cloruros orgánicos, fenoles, lodos de pinturas, cianuros y arsénicos.

### 9.3.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE RESIDUOS S/S

Las pruebas de caracterización física son adecuadas para caracterizar y contrastar los residuos antes y después del S/S. Las pruebas sobre residuos S/S ayuda a demostrar o evaluar el éxito o falla del procesos S/S. Los procedimientos típicamente utilizados son los siguientes:

Pruebas físicas típicas para caracterizar físicamente S/S<sup>24</sup>

<b>Tipo de análisis</b>	<b>Detalle</b>
Propiedades de manejo	Estas pruebas entregan información que son utilizadas para caracterizar en forma general el material o para establecer parámetros operacionales. Análisis de tamaño de partículas Límites de Atterberg (límites líquido, plástico e índice de plasticidad) Contenido de humedad Sólidos suspendidos Paint filter test
Pruebas de densidad	Se usan para determinar la relaciones de peso 7y volumen del material. Test de densidad Test de compactación (relación humedad-densidad)
Pruebas de permeabilidad	Se mide el grado de dificultad o facilidad con el cual un fluido (agua) pasa a través de un material. Falling head permeability Constant head
Pruebas de resistencia	Se prueba o evalúa la efectividad del proceso S/S bajo sollicitaciones mecánicas: Resistencia a la compresión de suelos cohesivos no confinados Resistencia a la compresión de probetas de concreto cilíndricas no confinadas Resistencia a la compresión de morteros Resistencia flexural Índice de cono
Pruebas de durabilidad	Determina el comportamiento de resistencia del material ante ciclos de secado, congelamiento y derretimiento. Durabilidad al congelamiento-deterrimiento Durabilidad al secado-humedecido

Estas pruebas fueron, en su generalidad, desarrollados para pruebas con suelos, cementos y otros materiales de construcción. Por lo anterior se debe tener un especial cuidado en la manipulación y manejo de la muestra, tanto para obtener una correcta interpretación analítica, como por aspectos de seguridad.

<sup>24</sup> Basado en US EPA 1989

### 9.3.4 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE RESIDUOS S/S

Las pruebas de lixiviación son las pruebas de uso más común para evaluar la calidad como tratamiento de un proceso S/S. Aparte de estas otros análisis químicos pueden ser también de aplicación.

#### Pruebas de lixiviación:

La percolación de compuestos peligrosos a partir de residuos S/S es una función tanto de propiedades intrínsecas del residuo y propiedades hidrológicas y geológicas del sitio. A pesar de que en un laboratorio las propiedades físicas y químicas intrínsecas pueden ser evaluadas, éstas son medidas bajo condiciones controladas que usualmente no coinciden con condiciones de campo reales. En el mejor de los casos, las pruebas de lixiviación pueden simular el comportamiento de los residuos bajo condiciones "ideales", estáticas (comportamiento en un momento histórico singular), o las "peores" condiciones de campo posibles. En la actualidad, los procedimientos de lixiviación pueden ser utilizados para comparar la efectividad de variados procedimientos S/S, pero **no se ha verificado su pertinencia en la determinación del potencial de percolación al largo plazo** (US EPA, 1989).

#### Mecanismos de Percolación:

La percolación a través de un medio poroso ha sido modelado por ecuaciones de transporte de soluto, que incorporan los siguientes factores:

Composición química del residuo y el medio de percolación

Propiedades físicas del residuo y los materiales adyacentes (por ejemplo tamaño de partículas, porosidad, conductividad hidráulica)

Gradiente hidráulico a través de los residuos.

El primer factor incluye las reacciones químicas y la cinética entre el líquido lixiviado y el residuo que produce la transformación de material de formas

inmóviles a móviles. Los últimos dos factores son utilizados para definir el transporte de fluidos y contaminantes móviles a través del residuo.

Las propiedades físicas de los residuos y el gradiente hidráulico determinan como lixiviante se pone en contacto con los residuos. El gradiente hidráulico, junto con la porosidad y permeabilidad, controla la velocidad y cantidad de la solución percoladora que se mueve a través del residuo. Por ejemplo, si el residuo es relativamente impermeable (baja conductividad hidráulica) en comparación con el medio que rodea, la solución lixiviante va a fluir alrededor del residuo. Esto puede ocurrir en un residuo S/S que es dispuesto en un medio con 100 veces mayor conductividad hidráulica (de  $10^{-6}$  a  $10^{-4}$  cm/s). En dichos casos, el mayor contacto entre la solución lixiviante y el residuo ocurre en la superficie geométrica del residuo. La permeabilidad de los residuos S/S puede incrementarse a través del tiempo debido a procesos de desgaste físicos y químicos; y por lo tanto aumentará la cantidad de residuos que circulen a través del residuo. Por lo tanto, a la larga el contacto entre la solución lixiviante y el residuo va a ocurrir en la superficie de las partículas dentro del residuo.

Las características químicas y de la solución lixiviante define los tipos y cinéticas de las reacciones químicas que movilizan o desmovilizan a los contaminantes en los residuos S/S. Las reacciones que pueden movilizar contaminantes fijados (adsorbed) o precipitados dentro del residuo incluyen disolución y desorción. En condiciones de no equilibrio, estas reacciones compiten con reacciones de desinmovilización, tales como la precipitación y adsorción. Las condiciones de no equilibrio se verifican generalmente cuando los residuos S/S están en contacto con soluciones lixiviantes y puede resultar en una transferencia neta, o percolación, de contaminantes en una solución lixiviante. Los siguientes factores afectan la difusión molecular de contaminantes dentro de los residuos:

Debido a los procedimientos de lixiviación de laboratorio involucran usualmente soluciones acuosas estandarizadas (soluciones neutras, buffer o ácidas) en vez de soluciones específicas al sitio, el resultados de las pruebas de laboratorio puede que no dupliquen la percolación real en terreno.

Dependiendo de las propiedades físicas y químicas de los residuos y de la solución lixiviante, la cinética del transporte de contaminante (o percolación) en un medio poroso son controlados por mecanismos advectivos o dispersivos/difusivos.

#### **9.3.4.1 TOXICITY CHARACTERISTIC LEACHING PROCEDURE (TCLP)**

En general las pruebas de lixiviación son utilizadas para estudiar el comportamiento de lixiviación de los residuos solidificados. El US EPA TCLP es uno de los más comúnmente utilizados. Cuando el TCLP es utilizado con formas de residuos estabilizadas en base cemento se pueden detectar algunos problemas debido a la capacidad de neutralización ácida (ANC, *acid neutralizing capacity*) de dichos residuos que pueden neutralizar la acidez del medio percolador haciendo no práctico la utilización del procedimiento. Además las condiciones de pH elevado pueden producir la lixiviación de algunos metales pesados anfotericos, que ocurren en condiciones de ambientes muy alcalinos (Poon, 1997).

### **9.3.5 QUIMICA DE LOS RESIDUOS TRATADOS CON S/S CEMENTO**

Debido a que este es el mecanismo de tratamiento previo a disposición utilizado en la actualidad en las instalaciones existentes en la Región Metropolitana y parece ser el más importante en un corto y mediano plazo se analiza esta técnica en detalle.

Para entender la química de un residuo tratado con S/S cemento hay que considerar tres elementos fundamentales:

El residuo propiamente tal

Los reactivos S/S

El medio ambiente en que se va a manejar el residuo S/S

Desde el punto de vista químico se pueden definir tres aproximaciones de análisis (Conner):

El sistema como un concreto adulterado, con el residuo entregando humedad y agregado. Material de agregado adicional puede ser adicionado, como por ejemplo cenizas, aditivos.

El sistema como un residuo tratado, con los reactivos S/S considerados como químicos de tratamiento.

El sistema en que la combinación residuos y reactivos S/S interactúan con su ambiente de disposición final o uso final.

#### **9.3.5.1 SISTEMA AGUA CEMENTO**

En el proceso S/S con cemento Portland, el agua del residuo reacciona químicamente con el cemento Portland para formar silicatos hidratados y compuestos aluminicos. La parte sólida de los residuos actúa como un agregado para formar el "concreto", aunque los tipos de sólidos encontrados en residuos

húmedos usualmente producen concretos de baja resistencia (Conner, 1993). La combinación óptima de residuo y cemento, el tipo de cemento elegido y el agregado de cualquier aditivo va a variar según tipo de residuo y composición. Se sabe que el cemento precisa de un contenido mínimo de agua para lograr trabajabilidad; este mínimo porcentaje de agua suele estar en una razón agua cemento del orden de 0,4 en peso, pero depende caso a caso del residuo, ya que algunos residuos pueden absorber importantes volumen de agua. Por otro lado el agregado de mucho agua puede resultar en la generación de una capa de agua libre en la superficie del residuo solidificado, así como una reducción en la resistencia y un incremento en la permeabilidad final.

No existe aún una opinión unánime acerca de cómo efectivamente se desarrollan los procesos químicos de combinación de agua y cemento, existen dos corrientes predominantes, una por cristalización y la osmótica o gel. Sin embargo ambas aproximaciones producen resultados similares, es decir los "granos" de cemento quedan trabados, primero fijando al cemento y finalmente endureciendo. Sin embargo aún persisten aspectos no resueltos del todo respecto a la química del cemento Portland; en particular aún hay desconocimiento acerca del rol y efecto de componentes menores.

La razón agua cemento<sup>25</sup> (A/C) es muy importante. El volumen de cemento prácticamente se duplica en la hidratación, creando una red de poros muy pequeña. El volumen originalmente ocupado por el agregado de agua forma un sistema de poros capilares mucho mayor. A medida que aumenta la razón A/C, el porcentaje de poros mayores aumenta, incrementando en forma substancial la permeabilidad de los residuos. En un sistema sólo de mezcla agua cemento, la permeabilidad es prácticamente 0 a un radio A/C de 0,32, pero se incrementa en forma exponencial hasta radios A/C de 0,6 o 0,7. A radios altos (sobre 0,5) el líquido se presenta en capas libres. La adición de agentes gelificantes tales como

---

<sup>25</sup> W/C en inglés Water to Cement ratio

el silicato de sodio y o agentes de incremento de volumen, tales como cenizas permite llegar a radios A/C mayores sin generar líquidos libres. Estos agentes pueden alterar las propiedades físicas y químicas del residuo y pueden afectar los tiempos de fijación. Las reacciones de cementación requieren la presencia de agua libre para completarse. Es importante considerar que el contenido de agua, determinado a partir de la determinación de sólidos totales no estará necesariamente disponible en su totalidad para esta reacción.

La durabilidad al largo plazo de morteros de concreto y cemento esta bien estudiada y probada. Sin embargo, siempre se verificarán ataques químicos y físicos debido a las condiciones ambientales. Los ataques químicos son fenómenos interfaciales que tienen lugar a través de mecanismos complejos, entre los que se incluyen intercambio iónico, disolución de sólidos hidratados o formación de nuevos compuestos insolubles. Los sulfatos son los compuestos más destructivos de los normalmente presentes en el medio ambiente, debido a que reaccionan con los compuesto aluminicos en la estructura del cemento, formando sulfoaluminato, ettringita, así como ácidos. Lo anterior induce la descomposición del residuo. Los ácidos lixivian cal desde la estructura hasta un 10 a 15% del peso original del cemento húmedo que h sido disuelto, pero esto tiene un impacto menor en la resistencia de la estructura del residuo, porque la estructura de la matriz de cemento Portland va a resistir a ataque de soluciones con un pH de hasta 5. Ácidos más fuertes pueden, no obstante, llegar a disolver por completo la matriz.

#### **9.3.5.2 SISTEMA RESIDUO/CEMENTO/AGUA**

Cuando el proceso S/S es visto como un sistema residuo/cemento/agua, con el cemento cumpliendo el rol de reactivo químico de tratamiento, la química es diferente, así como incrementa el nivel de complejidad. Lo anterior se debe al alto grado de complejidad y variabilidad de los residuos en sí, además de un limitado conocimiento acerca de la especiación de los metales contenidos en los residuos. La química de este sistema, y las subsecuentes propiedades de las formas

creadas quedan determinadas tanto por interacciones químicas y físicas del cemento y el residuo. Hay que separar en las discusiones la problemática de la solidificación de la de inmovilización y fijación.

### **9.3.6 Factores físicos relacionados con solidificación**

Las siguientes características físicas de los residuos pueden afectar el tiempo de fijado, el tiempo de curado, resistencia y otras propiedades físicas y químicas de la forma final de los residuos:

Tamaño de partículas y forma

Contenido de agua libre

Contenido de sólidos

Densidad específica

Viscosidad

Temperatura y humedad

### **9.3.7 Factores químicos relacionados con solidificación**

Los efectos provocados por distintos agentes influyen en el retraimiento, inhibición y aceleración de los tiempos de fijado y curados en un sistema S/S. Además algunos afectan la resistencia final, la permeabilidad y otras propiedades del curado total (en un rango de 10 a 100 días, siendo lo típico 28 días) del residuo tratado. La siguiente tabla resume estos efectos, según el estado del arte.

## Factores químicos relacionados con solidificación

<b>Componente o factor</b>	<b>Efecto</b>	<b>Mecanismo afectado</b>
Partículas finas	I, P	P
Materiales de intercambio iónico	I, A	I
Metal lattice substitution	I, A	I
Agente gelificantes	R,I,P-	P,I,M
Compuestos orgánicos (general)	I,P,R	I,D
Ácidos, ácidos clorídicos	P-	I
Alcoholes, glicoles	R, P-	I,W
Carbonilos	R	I,D
Hidrocarburos clorados	P-,R	I,M
Grasa	I,P	P
Ligninas	I	C
Aceite	I,P	P
Almidón	I	C
Sulfonatos	R	D
Azucares	I,R	C
Taninos	I	C
Compuestos orgánicos (específicos)		
Glicol etileno	P	I
Hexaclorobenceno	P-, P+	I
Fenol	P-	I
Tricloroetileno	P-	I
Compuestos inorgánicos (general)		
Ácidos	P-	I
Bases	P-	I
Boratos	R	M
Cloruros	R,P	I
Compuestos de cromo	A	I
Sales de metales pesados	P-,A,R	I
Compuestos de hierro	A	F,M
Compuestos de plomo	R	M
Compuestos de magnesio	R	M
Sales (general)	P-,A,R	I
Silicatos	R	F
Compuestos de sodio	I	I
Sulfatos	R,P	I
Compuestos de estaño	R	M
Compuestos inorgánicos (específicos)		
Cloruro de calcio	A,R	M

<b>Componente o factor</b>	<b>Efecto</b>	<b>Mecanismo afectado</b>
Nitrato de cobre	P+	I
Yeso, hidrato	R	I
Yeso, hemi-hidrato	A	I
Nitrato de plomo	P-,P+	I
Hidróxido de sodio	P+,P-	I
Sulfato de sodio	P+,P-	I
Nitrato de zinc	P+,P-	I

Claves: Cuando el efecto puede ser positivo o negativo según la concentración, el primer símbolo representa concentraciones menores, el último representa concentraciones mayores.

Efectos: I= inhibición del fijado/curado al largo plazo; A= aceleración del fijado/curado; R= retardación del fijado/curado al corto plazo; P+= alteración de las propiedades del producto curado, efecto positivo; P-= alteración de las propiedades del producto curado, efecto negativo

Mecanismo afectado: P= cobertura de partículas (cotas parciales); I= interfiere con la reacción; C= agente acomplejante; M= Perturbación de la matriz; F= floculante; D= dispersante; W= agente humidificante.

Los efectos descritos anteriormente son de todas formas variados y difíciles de predecir a partir del conocimiento de la composición de los residuos. Es posible tener varias especies presentes generando comportamiento opuesto al teóricamente aguardado, además las variaciones de concentración producen cambios en estos efectos.

La estabilización, contrario a la solidificación, involucra los efectos de los reactivos de tratamiento de cementación en el residuo, contrario a los efectos de los componentes de los residuos, discutido arriba. Es claro que en términos de calidad de la salud y medio ambiente este es el aspecto más importante. La estabilización de los residuos tienen sentido exclusivamente en términos de la relación agua cemento con el medio ambiente; siendo estudiado esto principalmente a través de los procesos de lixiviación.

### **9.3.8 SISTEMA RESIDUO/CEMENTO/LIXIVIADO**

Los mecanismos de fijación son diferentes para los tres grupos primarios de contaminantes, es decir metales, otros compuestos inorgánicos y compuestos orgánicos. Existe generalmente mayor información disponibles acerca de los procesos de fijación en metales.

La fijación, como ya se mencionó es la resistencia a la lixiviación inducida en el residuo tratado, es importante por lo tanto concentrarse en el proceso de percolación y los procedimientos de evaluación de tratabilidad y rendimiento.

### **9.3.9 Proceso de Lixiviación**

Si el agua se pone en contacto o pasa a través de cualquier material, cada constituyente del material se disuelve a tasas finitas diferenciadas. Cuando un residuo, tratado o no, es expuesto al agua, una tasa de disolución puede ser medida. Este proceso es llamado lixiviación, el agua que induce la reacción es el livivante y el agua contaminada por el residuo es el lixiviado. La capacidad del residuo de lixiviar se llama potencial de lixiviación.

Pese a ser un fenómeno en que es factor más relevante es la tasa de transferencia de material, la lixiviación es usualmente medida en términos de concentración. Esto se debe a que la concentración determinará finalmente el efecto del constituyente en el medio ambiente; en particular la concentración tiende a asociarse a los estándares de calidad de agua, que se constituyen por lo general en los estándares de calidad de lixiviación.

### 9.3.9.1 FACTORES QUE AFECTAN LA LIXIVIACIÓN

Existen dos grandes grupos de factores que afectan la lixiviación de los residuos tratados: aquellos que se originan en el material propiamente tal y aquellos que son función del test de lixiviación o el medio ambiente donde el residuo será depositado. La combinación de ambos factores determina el potencial de lixiviación del material.

Los factores más importantes propios del residuo que afectan los mecanismos de inmovilización o contención incluyen:

Control de pH

Control del potencial Redox

Reacciones químicas

- Precipitación de carbonatos

- Precipitación de sulfuros

- Precipitación de silicatos

- Precipitación ion-specific

- Complexation

Adsorción

Absorción química

Pasivación

Intercambio iónico

Diadochy

Re precipitación

## Encapsulación

Microencapsulación

Macroencapsulación

Embedment

Alteración de propiedades de los residuos

**9.4 SEGUIMIENTO**

Se deben controlar los siguientes aspectos para cada tipo o envío de residuo tratado en la instalación:

<b>Etapa Manejo</b>	<b>Aspecto a controlar o informar</b>
1. Generación	<p>Descripción de la instalación donde se generan o han sido previamente manejados los residuos</p> <hr/> <p>Cuales procesos se relacionan con cada clasificación de residuos (por ejemplo que proceso genera residuos peligrosos)</p> <hr/> <p>Clasificación de los residuos, en el caso del Borrador de Reglamento del Minsal (Minsal, 1998), clasificar según las clases descritas</p> <hr/> <p>¿Qué parámetros son estudiados, analizados y/o monitoreados?</p> <hr/> <p>¿Qué procedimientos de muestreo son utilizados?</p> <hr/> <p>Procedimiento de selección del laboratorio analítico</p> <hr/> <p>Qué procedimiento analítico es utilizado</p> <hr/> <p>¿Qué frecuencia para re evaluar el residuo se va adoptar?</p>

<b>Etapas Manejo</b>	<b>Aspecto a controlar o informar</b>
2.Tratamiento	Descripción de proceso de verificación de identificación del residuo por parte del generador
2.1 antes de aceptar el residuo	Descripción de proceso de screening para determinar tratabilidad y confirmar la no-existencia de compuestos incompatibles con el tratamiento
2.2 antes del tratamiento	Descripción de las limitaciones del proceso de tratamiento
	Descripción de estándares ambientales asociados al tratamiento
2.3 después del tratamiento	¿Logró cumplir el tratamiento con los estándares asociados o se necesitan pruebas adicionales de verificación?
	Describir los nuevos residuos generados por causa del tratamiento
	Descripción de los monitoreos y seguimientos necesarios (si se justifica)
	Descripción de sistemas de muestreo de residuos tratados
	Descripción de los procedimientos analíticos utilizados.

### **AGREGAR LECTURA COMPLEMENTARIA HORNO CEMENTERO**

## 10 DISPOSICIÓN FINAL RP

Después que el residuo ha sido tratado este se encuentra listo para su disposición. La forma y tipo del residuo determina en gran parte donde la disposición será permitida. Un limitado grupo de residuos pueden ser dispuestas por inyección a pozos profundos y en descargas submarinas a océanos. Los residuos sólidos son comúnmente colocados en rellenos sanitarios. Muchos residuos gaseosos y particulados son dispuestos en la atmósfera.

### ***Disposición Final de Residuos Sólidos Industriales.***

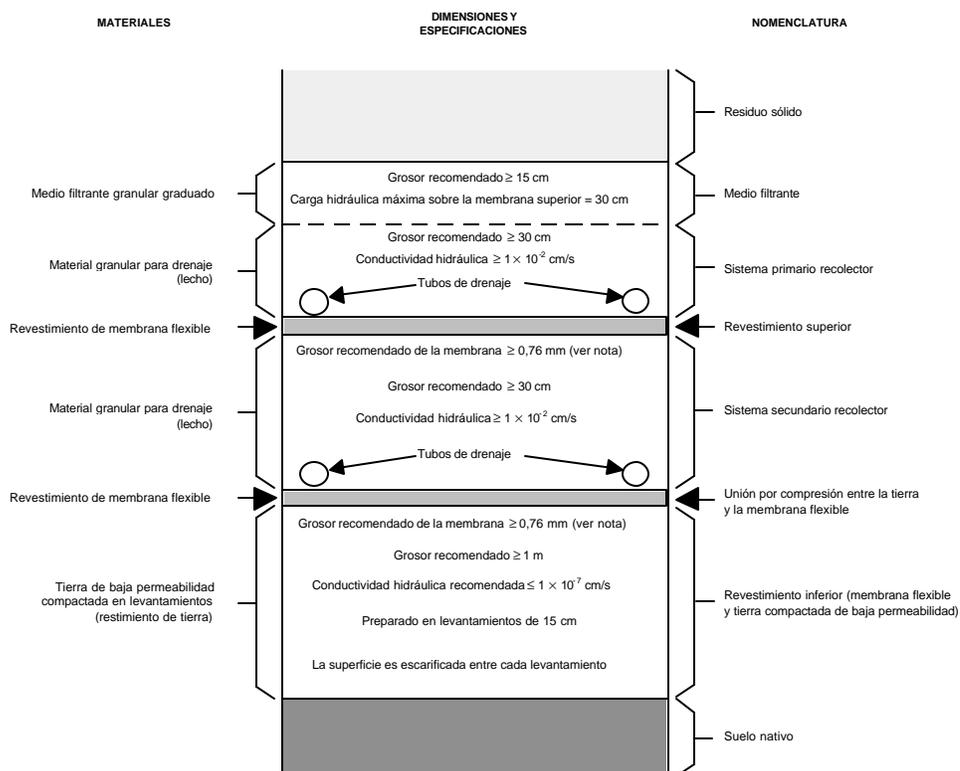
*Deberán localizarse fuera del Area Urbana Metropolitana y a distancias mayores de 600 m. de poblaciones o zonas habitacionales definidas por los Planes Reguladores Comunales. Este distanciamiento deberá consultarse dentro del recinto de la planta y cumplir con los mismos requisitos y exigencias que los rellenos sanitarios. Los residuos deberán ser inertes.*

*Podrán consultarse plantas de pretratamiento de residuos localizados en el sitio mismo de la industria, siempre que el procedimiento que genera el tratamiento esté de acuerdo con la clasificación del sector donde está emplazada la industria.*

### **10.1 EJEMPLO: CELDA IMPERMEABLE DE SEGURIDAD PARA RESIDUOS PELIGROSOS – LASALLE, QUEBEC**

En 1988, la municipalidad de LaSalle inició la última fase de descontaminación de los suelos donde previamente se localizaba una planta de carbón coque. Los suelos estaban fuertemente contaminados como resultado de derrames y de la disposición de los residuos en el terreno mismo. En 1988, la municipalidad de LaSalle comenzó la construcción de una celda para la contención de 600.000 m<sup>3</sup> de tierra contaminada y de residuos de la anterior planta. Esta celda fue diseñada y construida de acuerdo al concepto de vertederos de seguridad utilizando un sistema de revestimiento doble para dejar impermeable las paredes y la parte

inferior de la celda. Fue diseñada también para recolectar lixiviados y para la recolección y detección de cualquier liquido entre las dos geomembranas



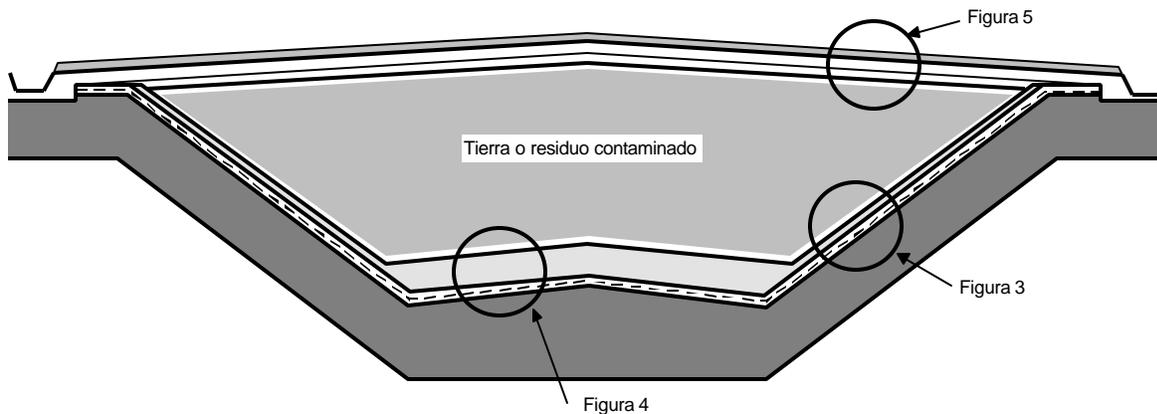
Nota: Se recomienda que el grosor de la membrana flexible sea superior o igual a 1,14 mm si el revestimiento no será cubierto dentro de tres meses

### Perfil esquemático del sistema de revestimiento doble compuesto para un vertedero para residuos peligrosos.

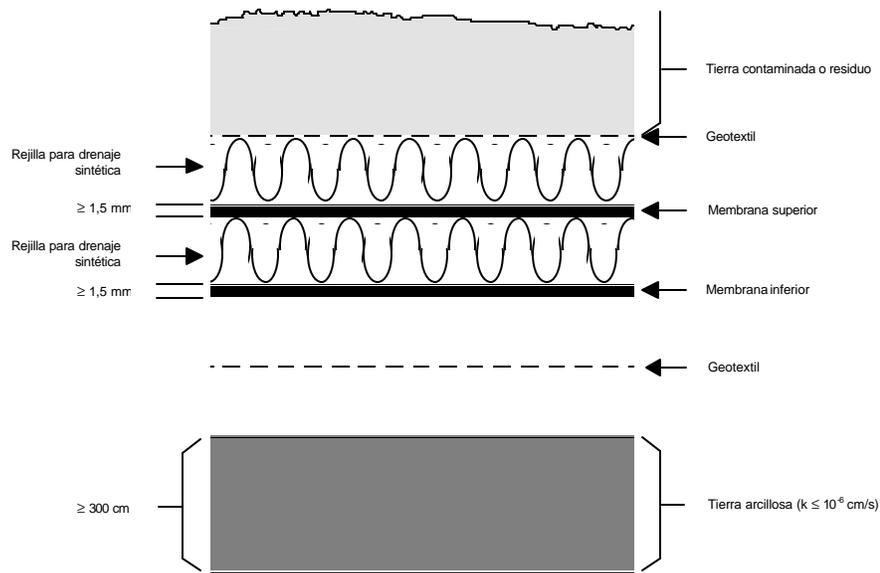
Mediante el diseño de una celda de seguridad, es posible drenar los materiales contaminados que han sido dispuestos en el vertedero por medio de un sistema de recolección de lixiviados, y minimizar así el riesgo de la migración de contaminantes hacia el exterior de la celda. El sistema de recolección de lixiviados en LaSalle se ubica sobre la geomembrana principal (polietileno de alta densidad 2,0 mm) que retiene los contaminantes dentro de la celda. Bajo el revestimiento principal hay un sistema detector de filtraciones y recolector. Este sistema detecta y recolecta cualquier liquido que se infiltra en el sistema. Bajo este, hay una

segunda geomembrana (polietileno de alta densidad 1,0 mm) que constituye la segunda barrera impermeable de la celda de seguridad. Revistiendo la parte inferior de la celda hay una capa de arcilla con una profundidad mínima de 1,2 m y un coeficiente de permeabilidad de  $4 \times 10^{-6}$  cm/s.

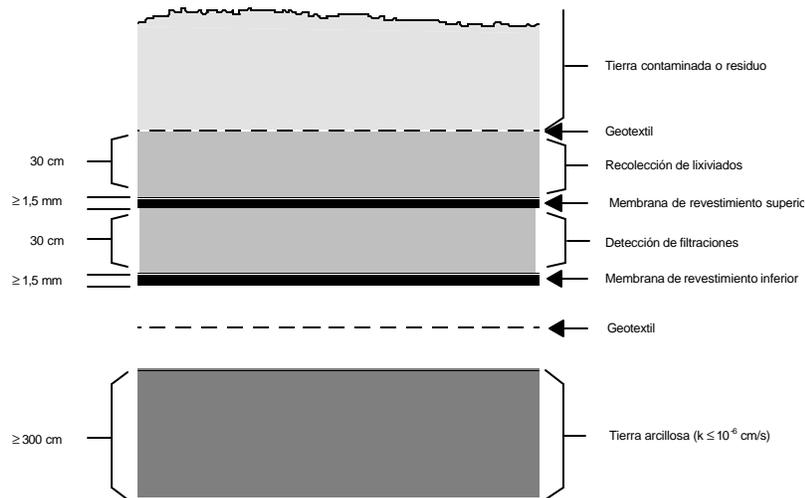
La cubierta de la celda consiste de tres capas, cada una con un propósito distinto. La primera capa, directamente sobre los residuos, es una capa impermeable que consiste de una geomembrana (polietileno de alta densidad 1.5 mm) sobre 60 cm de arcilla compactada. Esta capa esta diseñada para evitar la infiltración de las aguas lluvias. Sobre la capa impermeable, hay una capa para drenaje de 60 cm diseñada para promover el drenaje rápido de las aguas lluvias. La capa superior esta compuesta de 30 cm de vegetación, que esta diseñada para promover el crecimiento de vegetación sobre el vertedero. Las dos capas superiores protegen a la capa impermeable de los efectos de los ciclos de heladas/deshielos.



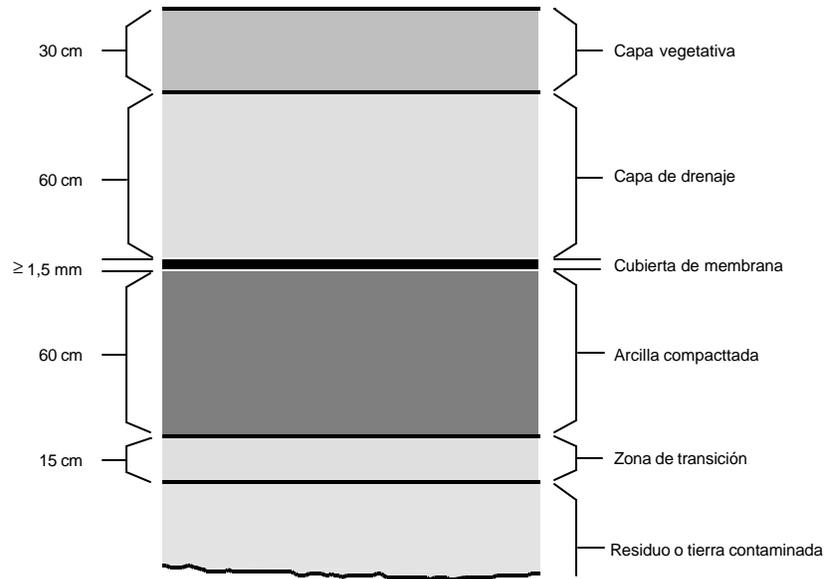
Corte transversal de la celda impermeable para residuos peligrosos (LaSalle, Quebec).



Corte transversal de la pared lateral de la celda impermeable para residuos peligrosos (LaSalle, Quebec).



Corte transversal de la pared inferior de la celda impermeable para residuos peligrosos (LaSalle, Quebec).



Corte transversal de la cubierta de la celda impermeable para residuos peligrosos (LaSalle, Quebec).

## 10.2 MATERIALES PARA REVESTIMIENTOS

Muchos tipos diferentes de materiales para revestimientos en vertederos han sido utilizados o estudiados:

### Membranas flexibles

polietileno de alta densidad (HDPE),

cloruro de polivinilo (PVC),

goma butílica,

neopreno, y

otros polietilenos (por ejemplo, clorados, clorosulfunatados).

Para revestimientos de membrana flexible se deben considerar:

*compatibilidad con el residuo que se va a contener y con el lixiviado que se va generar,*

*resistencia al desgaste (por ejemplo, radiación ultravioleta),*

*resistencia al daño físico,*

*resistencia a roedores y microbios,*

*retención de las propiedades deseables a diferentes temperaturas,*

*control y aseguramiento de calidad tanto en la manufactura como en la instalación,*

la necesidad de una capa de 0,5 a 1,0 m de profundidad de material granulado que ha de ser colocada sobre la membrana flexible, es para su protección durante el posicionamiento de los residuos durante la operación del vertedero, y el rendimiento y vida útil del revestimiento.

## Tierras

Históricamente, los suelos con altos contenidos de arcilla han servido como material de revestimiento en numerosas aplicaciones. Los revestimientos de tierra son puestos a los costados y en el fondo de un vertedero, y son compactados en capas de acuerdo a los requerimientos específicos. Sin embargo, la interacción entre la tierra y una variedad de compuestos químicos es compleja y variable. Luego, la compatibilidad de los revestimientos de tierra con varios tipos de residuos peligrosos es incierta. Estudios de laboratorio realizados a comienzos de los ochenta indicaron que los líquidos orgánicos concentrados podrían aumentar las conductividades hidráulicas de los suelos desde 100 a 1.000 veces. Sin considerar que tan representativos eran estos ensayos de las condiciones de prototipo, la U.S. EPA abandono los revestimientos de tierra a favor de revestimientos de membranas flexibles (FMLs). La U.S. EPA actualmente favorece el uso de revestimientos compuestos que consisten de arcilla y un material sintético. Los revestimientos de tierra deben considerar:

el contenido de humedad más eficiente para la compactación (se prefiere una “condición mojada” del revestimiento óptimo),

el tipo de compactación (se prefiere el tipo “amasado”),

la conductividad hidráulica final, y

el aseguramiento y control de calidad durante la instalación.

### Otros materiales

Se han usado otros tipos de revestimientos en lugar de tierras arcillosas y membranas flexibles:

bentonita y mezclas de bentonita,

tierra–cemento, y

material *sprayed–on* (por ejemplo, asfalto, asfalto en cemento, granito).

Aunque estos otros materiales pueden ser considerados, no son ampliamente usados en las instalaciones para residuos peligrosos.

En conclusión, el especificar preferencia por un revestimiento, natural y/o sintético, dependerá en consideraciones específicas del terreno y se basará en la compatibilidad demostrada con el residuo peligroso que será dispuesto en el vertedero. Los materiales para el revestimiento también serán seleccionados en base a su resistencia a la deterioración debida a cambios climáticos y a los esfuerzos asociados con la instalación del revestimiento y la operación del vertedero.

*Se permitirá la disposición final de residuos no peligrosos en relleno de seguridad y de los siguientes tipos de residuos peligrosos:*

*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 EPA, incluidos los líquidos almacenados en contenedores, a menos que se dispongan de técnicas que permitan su fijación y/o solidificación.*

*Residuos líquidos inflamables,*

*Residuos que contienen aceites minerales,*

*Explosivos sensibles a conmociones o golpes,*

*Gases comprimidos,*

*Residuos reactivos,*

*Compuestos altamente solubles en agua, mayor del 20% en peso.*

*Residuos tóxicos volátiles,*

*Sustancias que reaccionan con el aire, agua o ácidos y álcalis diluidos y que producen gases o reacciones peligrosas,*

*Envases o recipientes vacíos a menos que hayan sido acondicionados para evitar futuros asentamientos,*

*Dioxinas y Furanos,*

*Bifenilos policlorados,*

*Residuos que puedan afectar la resistencia o reaccionar químicamente con las barreras de impermeabilización de la instalación.*

### **10.3 CLAUSURA Y REMEDIACION**

*Al completarse la vida útil de las celdas se deberá proceder a impermeabilizar su superficie, con una barrera de arcilla de 30 cm de espesor y una conductividad hidráulica no superior a  $10^{-7}$  cm/seg, sobre la cual se deberá colocar una membrana sintética de al menos 0,75 mm de espesor. En todo caso, la Autoridad Sanitaria podrá aprobar la utilización de un material diferente a la arcilla, con espesores y conductividad hidráulica distintos, los que en todo caso deberán garantizar un nivel impermeabilización igual o superior a la de una capa de arcilla de 30 cm y conductividad hidráulica de  $10^{-7}$  cm/seg.*

*Además, se deberá contemplar una capa de material drenante, la que deberá ser colocada sobre la membrana sintética, debiendo tener un espesor de al menos 30 cm y una conductividad hidráulica no inferior a  $10^{-2}$  cm/seg. Finalmente, se deberá colocar una capa de suelo natural de un espesor mínimo de 60 cm. La superficie*

*final deberá tener una pendiente con dirección apropiada no menor a un 2% ni mayor a un 5%.*

*Para la capa del material drenante, la Autoridad Sanitaria podrá aprobar la utilización de un material con espesores y conductividad hidráulica distintos, los que en todo caso deberán garantizar un nivel de drenaje igual o superior al de una capa de material de 30 cm de espesor y una conductividad hidráulica de  $10^{-2}$  cm/seg.*

**Plan de Cierre** *deberá contemplar los siguientes cuidados y controles por un período de al menos 20 años:*

*61.1 Mantener la integridad de la cobertura y de los sistemas de drenaje superficiales.*

*61.2 Mantener y operar los sistemas de monitoreo de aguas subterráneas.*

*61.3 Mantener y operar los sistemas de recolección y tratamiento de líquidos lixiviados hasta que se extraiga todo el líquido percolado.*

*61.4 Mantener y operar el sistema de control y monitoreo de gases.*

*61.5 Mantener el cierre y el control de acceso de personas ajenas al relleno de seguridad.*

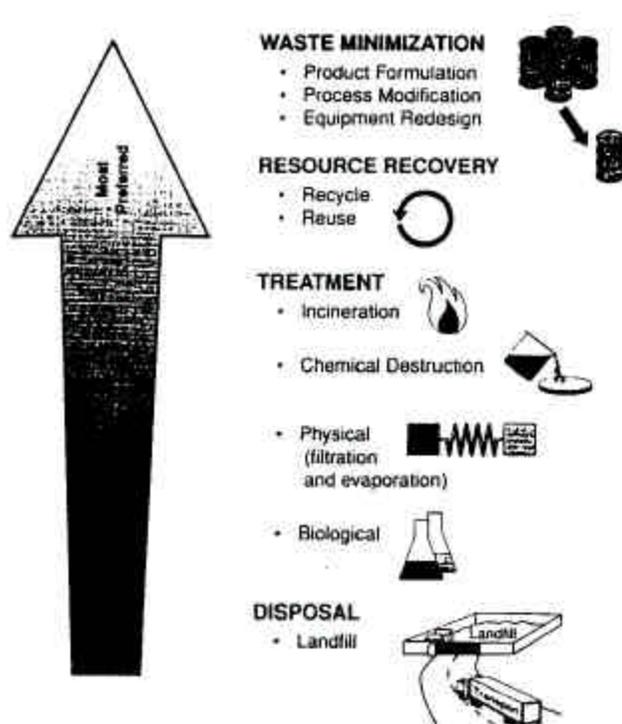
*61.6 Se deberá colocar y mantener señalización indicando que el sitio fue utilizado para la disposición de residuos peligrosos.*

*61.7 Se deberá mantener la superficie del relleno libre de especies vegetales arbóreas o de raíces profundas que puedan afectar las barreras de impermeabilización.*

## 11 MINIMIZACION DE RESIDUOS PELIGROSOS

Un importante aspecto de manejo de residuos peligrosos en una industria o institución es la intensiva evaluación de prácticas que permitan la minimización de generación de residuos.

La minimización de residuos peligrosos puede ser definida formalmente como la reducción, lo máximo posible, de los residuos peligrosos que son generados, tratados, almacenados y/o enviados a disposición. La minimización de residuos (Waste Minimization) esta sin duda en el punto más alto de una jerarquía de preferencias de tratamiento de residuos peligrosos.



Se conoce la minimización de residuos bajo otros nombres, como prevención de residuos, reducción de residuos, prevención de contaminación (P2). La minimización es sin duda la alternativa de manejo que más debe considerarse para el futuro, debido a los estrictos requisitos legales y el incremento de costos del sistema de manejo de residuos.

## 11.1 Beneficios de la Minimización

Los principales beneficios son:

Reduce el impacto ambiental. Se reduce el volumen de residuos al ambiente.

Mayor seguridad a los empleados o personal

Mayor facilidad para cumplir legislación.

Reducción de costos de operación. Pese a la inversión inicial la experiencia indica una reducción general de costos para el generador. En el caso de USA esto se ha incrementado con el aumento de los costos en disposición.

Mejora de relaciones públicas.

Reducción de responsabilidades para el generador.

Las cuatro principales alternativas de minimización son:

Cambios en formulación

Cambios en procesos

Rediseño equipos

Manejo ambiental