

---

## GUIA PARA EL DISEÑO DE RELLENOS DE SEGURIDAD EN AMERICA LATINA

*Auspiciado  
por:*



Química Livia Benavides

---

### Indice general:

- [Presentación](#)
  - [Introducción](#)
  - [Residuos peligrosos que pueden ser dispuestos en rellenos de seguridad](#)
  - [Pretratamiento de residuos peligrosos](#)
  - [Criterios básicos para el diseño de un relleno de seguridad](#)
  - [Procedimientos para la ubicación de un relleno de seguridad](#)
  - [Bibliografía](#)
  - [Anexo 01 - Mecánica de suelos](#)
  - [Anexo 02 - Clasificación de residuos peligrosos](#)
  - [Anexo 03 - Sistema de clasificación de desechos de la comunidad europea \(Propuesta 1992\)](#)
  - [Lista de cuadros](#)
  - [Lista de figuras](#)
- 

### Presentación

La División de Salud y Ambiente de la Organización Panamericana de la Salud ([OPS](#)) y su Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) han establecido el Programa Regional de Manejo de Residuos Peligrosos que cuenta con un Núcleo Técnico compuesto por expertos de países industrializados y de la Región. Este programa tiene el auspicio y apoyo técnico del Gobierno Alemán, a través de su Agencia de Cooperación Técnica, [GTZ](#). El objetivo del Programa Regional es fortalecer los programas existentes y desarrollarlos en los países que no los tengan, a fin de controlar los residuos industriales para garantizar el desarrollo sostenible en armonía con el ambiente.

Como resultado de la Primera Reunión del Núcleo Técnico realizada en noviembre de 1990, se delineó un plan de trabajo para el CEPIS. Dentro de este plan de trabajo (Benavides y Rincones, 1990) se acordó la elaboración de documentos técnicos en los que se establecieran lineamientos mínimos para lograr un manejo adecuado de los residuos tomando en cuenta las dificultades que tienen los países de la Región. Entre éstos, se consideró de primordial importancia la preparación de una Guía para el Diseño de Rellenos de Seguridad que provea técnicas simplificadas.

La base para la Guía fue preparada por el Consultor de la [GTZ](#) Karl-Heinz Striegel, durante junio y julio de 1992, y fue adaptada y editada por la Química Livia Benavides. El consultor visitó Bogotá, Lima y Caracas, donde tuvo la oportunidad de conocer industrias y sitios de disposición de residuos domésticos e industriales. En esta Guía se sintetiza también las discusiones y los aportes de los representantes de organismos nacionales (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, Bogotá; Empresa de Servicios Municipales de Limpieza de Lima, ESMLL, Lima; y Ministerio del Ambiente de Recursos Naturales Renovables, MARNR, Caracas) e internacionales ([OPS](#)/Bogotá, CEPIS/OPS, Lima).

---

## **Introducción**

Se reconoce ampliamente que los riesgos al ambiente y a la salud causados por los residuos peligrosos pueden ser significativos y que es necesario evitarlos a través de un manejo adecuado. El manejo de los residuos peligrosos incluye las etapas de minimización (optimización de procesos y reciclaje), almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición. Al implantarse un sistema de manejo de residuos peligrosos, se debe priorizar la utilización de tecnologías limpias que busquen la sustitución de insumos tóxicos por otros menos peligrosos. En segunda instancia, se debe optar por el reciclaje de residuos, y de no ser esto posible, se les debe tratar. Sin embargo, aún cuando se logre minimizar y tratar efectivamente los residuos, éstos deben ser dispuestos adecuadamente.

Para ello, es necesario utilizar rellenos de seguridad que garanticen la protección del ambiente. Surge así, la necesidad de optar por una tecnología de disposición en el suelo que, aunque no cumpla con los requerimientos que exigen los países industrializados, permita un mayor control en la disposición de los residuos.

Algunas ciudades de la Región cuentan con rellenos de seguridad. En el Estado de Sao Paulo, Brasil, donde ya existe reglamentación para el control de residuos industriales, se han instalado varios rellenos de seguridad. Uno de ellos fue construido por una empresa privada que fue obligada a diseñar un relleno para la disposición de sus residuos peligrosos (Penteado et.al., 1983). La ciudad de Sorocaba, también en el estado de Sao Paulo, tiene un relleno de seguridad, diseñado según las normas internacionales, el cual recibe los residuos de la zona (Amaral Filho, 1988, comunicación personal).

Las tecnologías utilizadas en estos rellenos son similares a las de los países industrializados e incluyen el uso de revestimientos sintéticos. Sin embargo, estos revestimientos son costosos y difíciles de encontrar en muchos países de la Región y su compleja instalación requiere de equipos especiales para sellarlos.

En la Guía que se presenta, si bien se reconoce que los revestimientos sintéticos proveen un factor de seguridad deseable, se proponen otras opciones que resultan más accesibles técnica y económicamente para los países de la Región.

- [Propósito de la guía técnica](#)
  - [Contenido de la guía técnica](#)
- 

## **Propósito de la guía técnica**

Esta guía provee información sobre los requerimientos mínimos para el diseño e instalación de rellenos de seguridad en los países de la Región.

Está dirigida a los encargados del manejo de los residuos industriales dentro del sector público y privado. Pretende llegar a los responsables de la toma de decisiones ambientales y a los ingenieros y consultores responsables del diseño e instalación de rellenos.

---

## **Contenido de la guía técnica**

El objetivo principal de esta guía es ofrecer de manera sistemática los procedimientos para la búsqueda del sitio, diseño, construcción y administración de un relleno de seguridad en América Latina.

Es fundamental conocer la calidad y cantidad de los residuos que se descargarán en el futuro relleno. Generalmente, en los países de la Región no se cuenta con información detallada sobre generación de residuos. Por este motivo, se incluye un sistema simplificado de clasificación de residuos, el cual sirve para el diseño del relleno. A partir de este sistema, y mientras que no se tenga una clasificación y cuantificación de los residuos, se recomienda la realización de un trabajo por etapas hasta llegar al diseño final. En una etapa más avanzada, es necesario conocer las cantidades reales de generación de residuos y sus propiedades físico- químicas, así como de sus lixiviados para la adaptación del diseño del relleno.

Esta guía consta de cinco secciones. La primera sección contiene información general. En la segunda sección se presenta la definición y la clasificación de residuos peligrosos según la Guía para la Definición y Clasificación de Residuos Peligrosos (CEPIS, 1993). Asimismo, se incluyen listados de residuos que pueden ser dispuestos en rellenos de seguridad. La tercera sección describe brevemente algunas técnicas de pre-tratamiento requeridas para algunos de los residuos. La cuarta sección discute los criterios básicos para el diseño y operación de un relleno de seguridad simplificado, así como algunas modificaciones posibles al diseño de los rellenos de seguridad para áreas de clima desértico. En la quinta sección se presentan los procedimientos para la ubicación de un relleno de seguridad.

La guía también incluye tres anexos. En el anexo 1, se describen los principios básicos de la mecánica de suelos aplicable al diseño de rellenos de seguridad. En los anexos 2 y 3 se presentan los sistemas de clasificación de residuos peligrosos según el Convenio de Basilea y de la Comunidad Europea.

---

## **Residuos peligrosos que pueden ser dispuestos en rellenos de seguridad**

Existe una gran variedad de residuos peligrosos generados por la industria manufacturera que presentan diversas características y niveles de peligrosidad. Algunas de estas características harán que su disposición en el suelo cause un gran riesgo al medio ambiente, como son los solventes halogenados y los bifenilos policlorados (PCB's). En este sentido es importante establecer definiciones y listas de los residuos que pueden ser dispuestos en rellenos de seguridad sin generar un alto riesgo de contaminación al medio ambiente.

A continuación se presentan definiciones de importancia para esta guía, las que están basadas en la Guía para la Definición y Clasificación de Residuos Peligrosos (CEPIS, 1993). Seguidamente, se describen los tipos de residuos que pueden disponerse en los rellenos de seguridad y las posibles incompatibilidades que podrían presentarse al mezclarse los diferentes grupos de residuos. Asimismo, en los anexos 2 y 3 se pueden encontrar la Clasificación de Residuos Peligrosos según el Convenio de Basilea y de la Comunidad Europea, respectivamente.

Los métodos estándares enumerados en esta sección son sólo sugerencias. El usuario debe consultar con la institución responsable de establecer normas en su país para determinar cuál es el método apropiado de acuerdo con su la legislación.

- [Definición de residuos peligrosos](#)
- [Residuo peligroso](#)
- [Corrosividad: \(Environmental Protection Agency, 1980\)](#)
- [Reactividad: \(Environmental Protection Agency, 1980\)](#)
- [Explosividad: \(Environmental Protection Agency, 1980\)](#)
- [Toxicidad \(PNUMA, 1989\)](#)
- [Inflamabilidad: \(Environmental Protection Agency, 1980\)](#)
- [Patogenicidad \(CETESB, 1985\)](#)
- [Listas de residuos peligrosos](#)

---

### **Definición de residuos peligrosos**

Todo material que no tiene valor de uso directo, y que es descartado por su propietario. Esta definición implica que existe el potencial de reciclaje, ya que el residuo es al mismo tiempo una materia prima, pudiendo ocasionar dificultades de manejo en caso de tratarse de residuos peligrosos. Por esta razón, se recomienda considerar al residuo como tal, hasta su transformación o disposición, ya que de esta manera se consigue una mayor protección del ambiente, particularmente cuando la infraestructura de control es limitada.

---

## **Residuo peligroso**

Es aquel desecho que, en función de sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y patogenicidad, puede presentar riesgo a la salud pública o causar efectos adversos al medio ambiente. No incluye a los residuos radiactivos. Se ha puesto énfasis en las características de peligrosidad tal como se utilizan en los Estados Unidos y en otros países, y se han incluido las características de explosividad y patogenicidad. Por otro lado, los residuos radiactivos, aunque en términos reales presentan un peligro al ambiente, son generalmente controlados por agencias u organismos diferentes de la autoridad ambiental. Por lo tanto, su disposición debe ser realizada en forma separada y según las condiciones de seguridad necesaria para este tipo de residuo.

---

### **Corrosividad: (Environmental Protection Agency, 1980)**

Un residuo es corrosivo si presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

1. Ser acuoso y tener un pH menor o igual a 2 o mayor o igual a 12.5;
  2. Ser líquido y corroer el acero a una tasa mayor que 6.35 mm al año a una temperatura de 55°C, de acuerdo con el método NACE (National Association Corrosion Engineers), Standard TM-01-69, o equivalente.
- 

### **Reactividad: (Environmental Protection Agency, 1980)**

Un residuo es reactivo si muestra una de las siguientes propiedades:

1. Ser normalmente inestable y reaccionar de forma violenta e inmediata sin detonar;
  2. Reaccionar violentamente con agua;
  3. Generar gases, vapores y humos tóxicos en cantidades suficientes para provocar daños a la salud o al ambiente cuando es mezclado con agua;
  4. Poseer, entre sus componentes, cianuros o sulfuros que, por reacción, libere gases, vapores o humos tóxicos en cantidades suficientes para poner en riesgo a la salud humana o al ambiente;
  5. Ser capaz de producir una reacción explosiva o detonante bajo la acción de un fuerte estímulo inicial o de calor en ambientes confinados.
-

### **Explosividad: (Environmental Protection Agency, 1980)**

Un residuo es explosivo si presenta una de la siguientes propiedades:

1. Formar mezclas potencialmente explosivas con el agua;
  2. Ser capaz de producir fácilmente una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y 1 atm;
  3. Ser una sustancia fabricada con el objetivo de producir una explosión o efecto pirotécnico.
- 

### **Toxicidad: (PNUMA, 1989)**

Un residuo es tóxico si tiene el potencial de causar la muerte, lesiones graves, o efectos perjudiciales para la salud del ser humano si se ingiere, inhala o si entra en contacto con la piel. Para este efecto se consideran tóxicos los residuos que contienen los constituyentes enumerados en el [cuadro 2.1](#). La definición de toxicidad es cualitativa y tiene como propósito evitar la necesidad de equipos analíticos de laboratorio altamente sofisticados para la clasificación de los residuos. Sin embargo, se debe tener en cuenta que una definición más exacta requiere la utilización de límites cuantitativos de contenido de sustancias tóxicas o el uso de definiciones que establecen LC50 (concentración letal media que mata al 50% de los organismos de laboratorio) tales como las que se usan en Estados Unidos (Environmental Protection Agency, 1980) o en el Estado de Sao Paulo, Brasil (CETESB, 1985).

---

### **Inflamabilidad: (Environmental Protection Agency, 1980)**

Un residuo es inflamable si presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

1. Ser líquido y tener un punto de inflamación inferior a 60°C, conforme el método del ASTM-D93-79 o el método ASTM-D-3278-78 (de la American Society for Testing and Materials), con excepción de las soluciones acuosas con menos de 24% de alcohol en volumen;
  2. No ser líquido y ser capaz de, bajo condiciones de temperatura y presión de 25°C y 1 atm, producir fuego por fricción, absorción de humedad o alteraciones químicas espontáneas y, cuando se inflama, quemar vigorosa y persistentemente, dificultando la extinción del fuego;
  3. Ser un oxidante que puede liberar oxígeno y, como resultado, estimular la combustión y aumentar la intensidad del fuego en otro material.
-

## **Patogenicidad (CETESB, 1985)**

Un residuo es patógeno si contiene microorganismos o toxinas capaces de producir enfermedades. No se incluyen en esta definición a los residuos sólidos o líquidos domiciliarios o aquellos generados en el tratamiento de efluentes domésticos.

---

## **Listas de Residuos Peligrosos**

En el [cuadro 2.2](#) se presenta una lista de residuos que pueden ser dispuestos en un relleno de seguridad. Se provee esta lista como ejemplo, ya que en cada caso se podrá modificar según las necesidades y condiciones del relleno de seguridad. Los residuos en esta lista vienen acompañados de Códigos de Clasificación (según la Guía para la Definición y Clasificación de Residuos Peligrosos, CEPIS 1993) y, cuando es necesario, de pretratamientos requeridos previos a la disposición final en rellenos de seguridad. En el [cuadro 2.3](#) se incluyen los Códigos CIU (Clasificación Internacional Industrial Unificada de las Naciones Unidas) de las actividades industriales que potencialmente los generan. Se podrá notar que en esta lista se incluyen algunas fuentes que no pertenecen a la industria manufacturera, como son las plantas de tratamiento de residuos peligrosos y el comercio. Asimismo, hay ciertos tipos de residuos peligrosos que son generados por la industria en general, por ejemplo los que son producto de la limpieza dentro de las industrias, como los paños textiles impregnados con sustancias peligrosas.

Ciertos tipos de residuos, debido a su alta peligrosidad, específicamente, los residuos corrosivos, reactivos, explosivos e inflamables, así como los residuos altamente tóxicos (venenosos) no deben ser dispuestos en rellenos. En el [cuadro 2.4](#) se presentan algunos ejemplos de residuos que no pueden ser dispuestos en un relleno de seguridad.

Los residuos, antes de ser dispuestos, deben cumplir con ciertos requerimientos físicoquímicos. En el [cuadro 2.5](#) se describen algunos de los parámetros utilizados en Alemania. Estos requerimientos delimitan el contenido máximo de ciertas sustancias químicas tóxicas en el residuo y establecen parámetros de estabilidad física que deben ser evaluados. La aplicación de estos límites requiere la utilización de métodos analíticos de laboratorio que en algunos casos son sofisticados y costosos. En este sentido, se recomienda que, de no ser posible la implantación de todos estos parámetros, se apliquen, por lo menos, los de grasas extraíbles, pH, carbón orgánico total (TOC) y halógenos orgánicos totales (TOH). En segunda instancia, se deben priorizar los metales pesados de alta toxicidad, tales como plomo, arsénico y cromo hexavalente.

Un factor a tomarse en cuenta, es la compatibilidad de los residuos. Es decir, en ciertos casos algunas sustancias pueden reaccionar en contacto con otras causando

fuego, explosiones o la liberación de sustancias tóxicas. En el [cuadro 2.6](#) se muestran las incompatibilidades de algunos residuos al mezclarse.

---

### **Cuadro 2.1. Sustancias tóxicas que confieren peligrosidad a un residuo**

- Metales carbonillos
- Berilio y sus compuestos
- Cromo hexavalente y sus compuestos
- Compuestos de cobre
- Compuestos de zinc
- Arsénico y sus compuestos
- Selenio y sus compuestos
- Cadmio y sus compuestos
- Antimonio y sus compuestos
- Telurio y sus compuestos
- Mercurio y sus compuestos
- Talio y sus compuestos
- Plomo y sus compuestos
- Compuestos inorgánicos de flúor, con exclusión del fluoruro cálcico
- Cianuros inorgánicos
- Asbesto (polvo y fibras)
- Compuestos orgánicos del fósforo
- Cianuros orgánicos
- Fenoles, compuestos fenólicos, incluyendo clorofenoles
- Eteres
- Solventes orgánicos halogenados y no halogenados
- Cualquier sustancia del grupo de los dibenzofuranos policlorados
- Cualquier sustancia del grupo de las dibenzoparadioxinas policloradas
- Otras sustancias organohalogenadas



**Cuadro 2.2. Residuos peligrosos que pueden ser dispuestos en rellenos de seguridad**

<b>Código del residuo</b>	<b>Descripción del residuo</b>	<b>Pretratamiento recomendado</b>	<b>Industria generadora (Código CIU)</b>
1.01	Residuos de la producción de aceites vegetales	.	3115, 3523
1.02	Residuos ácidos grasos	.	3115, 3523, 3540
1.03	Emulsiones de aceites y grasas	Desecado previo a la disposición	3115, 3523
1.04	Lodos del proceso de producción del cuero	Desecado previo a la disposición	3531, 3232
1.05	Aserrines empapados de aceites u otros líquidos nocivos	.	3540, 9999
1.06	Filtros de papel empapados con residuos nocivos	.	9999
1.07	Gasas empapadas con residuos nocivos	.	9999
1.08	Material de embalaje contaminado o con restos de contenido nocivo	.	9999
2.01	Residuos con sustancias peligrosas provenientes de hornos	.	3710, 3720
2.02	Escoria de fundición de metales no ferrosos	.	3720
2.03	Escoria salinas de la producción de metales no ferrosos	.	3720
2.04	Cenizas metales no ferrosos	Solidificación previa a la disposición	3720
2.05	Polvos de filtros de	Solidificación previa a la	3720

	metales no ferrosos	disposición	
2.06	Cenizas volátiles de filtros de incineradores	Solidificación previa a la disposición	4311, 4312
2.07	Residuos de lavadores de gas de incineradores (v.g.yeso)	.	4311, 4312
2.09	Suelos contaminados	.	9999
2.10	Escombros contaminados	.	9999
2.11	Arenas de fundición	.	3710, 3720
2.12	Material de filtros usados con contenidos nocivos (v.g.carbón activado)	.	35, 9520, 4324
2.13	Polvos de asbesto	Residuos debe estar envasado	3699
2.14	Lodos minerales con residuos peligrosos	Desecado solidificación	35, 3710, 3720
2.15	Lodos con cianuro de la metalurgia	Solidificación	3710
2.16	Filtros de aceite	.	9999, 9513
2.17	Residuos con metales pesados no ferrosos	.	3720
2.18	Acumuladores (baterías) de níquel-cadmio	Solidificaci&ocute;n encapsulamiento	9999, 61, 62, 3839
2.19	Baterías con mercurio	Solidificación encapsulamiento	3839, 9999, 61, 62
2.20	Residuos con mercurio	Solidificación encapsulamiento	9999
2.21	Lodos de zinc, plomo, estaño	Solidificación encapsulamiento	23, 3720
3.01	Lodos galvánicos con cianuro, cromo VI	Cianuro: oxidación, cromo:reducción	3811, 3812, 3819
3.02	Lodos galvánicos con cromo III, cobre, zinc, cadmio, níquel, cobalto, plomo, estaño	Solidificación	3811, 3812, 3819

3.03	Otros lodos de hidróxidos metálicos	Desecado solidificación	o	35, 432
3.04	Oxidos e hidróxidos de zinc, manganeso, cromIII, cobre y otros metales pesados	Desecado solidificación	o	35, 3720
3.05	Sales y sustancias químicas del proceso del curtido de pieles	Solidificación encapsulamiento	o	3231, 3232
3.06	Sales de impregnado de la madera	Solidificación encapsulamiento	o	3311, 3319, 3320
3.07	Sales para endurecimiento del acero	Solidificación encapsulamiento	o	3720
3.08	Cloruros y sulfuros con metales pesados	Solidificación encapsulamiento	o	3720
3.09	Sales con contenido nocivo de cianuro	Oxidación, solidificación previa a la disposición		35
3.10	Cal con contenido de arsénico	Solidificación encapsulamiento	o	35, 3610, 3620
3.11	Hidrofluoruro de amonio	Solidificación encapsulamiento	o	38
5.01	Residuos de plaguicidas	Solidificación encapsulamiento	o	3512, 61, 62
5.02	Residuos de desinfectantes	Solidificación encapsulamiento	o	35, 3522, 9331
5.03	Residuos de la industria farmacéutica	Solidificación encapsulamiento	o	3522
5.04	Productos farmacéuticos caducos	Solidificación encapsulamiento	o	3522, 9331
5.05	Detergentes	.		3523, 61, 62
5.06	Tensoactivos	.		3523, 35, 3211
5.07	Residuos químicos de laboratorios	Depende del residuo		9999
6.07	Grasas y ceras	.		3540, 9999
6.08	Residuos sólidos	.		3540, 9999

	empapados de aceite y grasa		
6.10	Emulsiones bituminosas	.	3540
6.12	Lodos con combustible	.	9999
6.13	Lodos con lubricantes	.	9999
6.14	Residuos de la refinación de aceites usados	.	0000
6.16	Residuos del alquitrán	.	3540
7.05	Lodos con solventes orgánicos halogenados	Encapsulamiento	35, 9999
7.06	Lodos con solventes orgánicos no halogenados	Encapsulamiento	35, 9999
7.08	Pinturas y barnices residuales	.	3420, 3521, 61, 62
7.09	Lodos de pinturas y barnices	Encapsulamiento	3521, 38
8.01	Residuos plásticos no endurecidos	.	3513
8.02	Ablandadores halogenados	Encapsulamiento	35, 3513
8.03	Ablandadores no halogenados	Encapsulamiento	35, 3513
8.05	Lodos del plástico o caucho con solventes	Encapsulamiento	35, 3513, 3540
8.06	Lodos y emulsiones de látex	Encapsulamiento	3214, 3521
8.07	Lodos y emulsiones de caucho	.	355
8.08	Lodos de teñido de textiles	Solidificación	3211
8.09	Lodos de lavandería	Solidificación	3211, 9520
8.10	Filtros textiles con sustancias peligrosas	.	3211, 9999
8.11	Paños textiles con	.	9999

	suustancias peligrosas		
9.03	Catalizadores	Solidificación y encapsulamiento	35, 3540
9.11	Lodos de tratamiento de efluentes industriales no especificados anteriormente	Desecado	9999
9.13	Residuos hospitalarios patógenos	.	9331

- Código del residuo según la guía para la definición y clasificación de residuos peligrosos (CEPIS, 1993)

**Cuadro 2.3. Industrias generadoras de residuos peligrosos**

<b>Código CIU</b>	<b>Actividad industrial</b>
0000	Actividad no especificada
3115	Fabricación de aceites y grasas vegetales y animales
3211	Hilado, tejido y acabados de textiles
3214	Fabricación de tapices y alfombras
3231	Curtiembre y taller de acabado
3232	Preparación y teñido de pieles
3311	Aserraderos y talleres para trabajar la madera
3319	Otros productos de madera y corcho
3320	Fabricación de muebles y accesorios
3420	Imprentas y editoriales
35	Fabricación de sustancias químicas y de producción de químicos derivados del petróleo
3512	Fabricación de fertilizantes y plaguicidas
3513	Fabricación de resinas sintéticas, materias plásticas y fibras sintéticas
3521	Fabricación de pinturas, barnices y lacas

3522	Fabricación de productos farmacéuticos y medicinas
3523	Fabricación de jabones, perfumes y cosméticos
3530	Refinerías de petróleo
3540	Fabricación de productos del petróleo y del carbón
355	Fabricación de productos de caucho
3610	Fabricación de objetos de barro, loza y porcelana
3620	Fabricación de vidrio y productos de vidrio
3699	Fabricación de productos minerales no metálicos n.E.P.
3710	Industrias básicas de hierro y acero
3720	Industrias básicas de metales no ferrosos
38	Fabricación de productos metálicos, maquinaria y equipo
3811	Fabricación de cuchillería, herramientas manuales y de ferreterías
3812	Fabricación de muebles y accesorios principalmente metálicos
3819	Fabricación de productos metálicos n.e.p
3839	Construcción de aparatos y suministros eléctricos, N.E.P.
4311	Plantas de incineración de residuos peligrosos
4312	Plantas de incineración de residuos domésticos
432	Plantas de tratamiento fisicoquímico
4322	Reducción
61	Comercio al por mayor
62	Comercio al por menor
9331	Servicios médicos, quirúrgicos y otros servicios de sanidad
9513	Reparación de automóviles y motocicletas
9520	Lavanderías y servicios de lavandería; establecimientos de limpieza y teñido
9999	Industrias en general

- **Código CIU: Clasificación Industrial Internacional Uniforme**



**Cuadro 2.4. Ejemplos de residuos que no pueden ser dispuestos en un relleno de seguridad**

<b>Características de los residuos</b>	<b>Ejemplos</b>
Residuos altamente tóxicos (Venenos)	Dioxinas Bifenilos Policlorados (PCB)
Residuos explosivos	Explosivos y municiones
Residuos inflamables	Solventes con bajo punto de inflamabilidad
Residuos reactivos	Peróxidos Metales alcalinos

**Cuadro 2.5. Requerimientos fisicoquímicos mínimos para la disposición de residuos peligrosos en rellenos de seguridad**

<b>Parámetro</b>	<b>Valores limite</b>
Grasas extraíbles	4%
pH	4-13
Carbón orgánico total	200 mg/l
Fenol	100 mg/l
Arsénico	1 mg/l
Plomo	2 mg/l
Cadmio	0.5 mg/l
Cromo VI	0.5 mg/l
Cobre	10 mg/l
Níquel	2 mg/l
Mercurio	0.1 mg/l
Zinc	10 mg/l
Fluor	50 mg/l
Amonio	1000 mg/l
Cloro	10,000 mg/l
Cianuro, fácilmente liberado	1 mg/l
Sulfato	5000 mg/l

Nitrito	30 mg/l
Halógenos Orgánicos Totales (TOH)	3 mg/l

- Todos los valores excepto las grasas extraíbles son en los eluatos.
- Fuente: Gemeinsames Ministerialblatt (1990)

**Cuadro 2.6. Compatibilidad de los residuos**

<b>Grupo 1-A</b>	<b>Grupo 1-B</b>
Lodo de acetileno Líquidos fuertemente alcalinos Líquidos de limpieza alcalinos Líquidos alcalinos corrosivos Líquido alcalino de batería Aguas residuales alcalinas Lodo de cal y otros álcalis corrosivos Soluciones de cal Soluciones cáusticas gastadas	Lodos ácidos Soluciones ácidas Ácidos de batería Líquidos diversos de limpieza Electrolitos ácidos Líquidos utilizados para grabar metales Componentes de líquidos de limpieza Baños de decapado y otros ácidos Ácidos gastados Mezcla de ácidos residuales Ácido sulfúrico residual

Efectos de la mezcla de residuos Grupo 1-A con los del Grupo 1-B  
Generación de calor, reacción violenta

<b>Grupo 2-A</b>	<b>Grupo 2-B</b>
Residuos de asbesto Residuos de berilio Embalajes vacíos contaminados con plaguicidas Residuos de plaguicidas Otras sustancias tóxicas	Solventes de limpieza de componentes electrónicos Explosivos obsoletos Residuos de petróleo Residuos de refinerías Solventes en general Residuos de aceite y otros residuos inflamables y explosivos

Efectos de la mezcla de residuos Grupo 1-A con los del Grupo 1-B  
Emisión de sustancias tóxicas en caso de fuego o explosión

<b>Grupo 3-A</b>	<b>Grupo 3-B</b>
Aluminio Berilio	Residuos del Grupo 1-A o 1-B



Calcio Litio Magnesio Potasio Sodio Zinc en polvo, otros metales Reactivos e hidruros metálicos	
---	--

Efectos de la mezcla de residuos Grupo 1-A con los del Grupo 1-B  
 Fuego o explosión, generación de hidrógeno gaseoso inflamable

<b>Grupo 4-A</b>	<b>Grupo 4-B</b>
Alcoholes Soluciones acuosas en general	Residuos concentrados de los Grupos 1-A o 1-B Calcio Litio Hidruros metálicos Potasio SO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , SOCl <sub>2</sub> , PCI <sub>3</sub> , CHSiCl <sub>3</sub> y otros residuos reactivos con agua

Efectos de la mezcla de residuos Grupo 4-A con los del Grupo 4-B  
 Fuego, explosión o generación de gases inflamables o tóxicos

<b>Grupo 5-A</b>	<b>Grupo 5-B</b>
Alcoholes Aldehidos Hidrocarburos halogenados Hidrocarburos nitrados y otros compuestos reactivos, y solventes Hidrocarburos insaturados	Residuos concentrados del Grupo 1-A o 1-B Residuos del Grupo 3-A

Efectos de la mezcla de residuos Grupo 5-A con los del Grupo 5-B  
 Fuego, explosión o reacción violenta

<b>Grupo 6-A</b>	<b>Grupo 6-B</b>
Soluciones gastadas de cianuros o sulfuros	Residuos del Grupo 1-B

Efectos de la mezcla de residuos Grupo 6-A con los del Grupo 6-B  
 Fuego, explosión o reacción violenta

<b>Grupo 7-A</b>	<b>Grupo 7-B</b>
Cloratos y otros oxidantes fuertes Cloro Cloritos Acido crómico Hipocloritos Nitratos	Acido acético y otros ácidos orgánicos Acido minerales concentrados Residuos del Grupo 2-B Residuos del Grupo 3-A Residuos del Grupo 5-A y otros residuos Combustibles inflamables

Acido nítrico humeante Percloratos Permanganatos Peróxidos	
---	--

Efectos de la mezcla de residuos Grupo 7-A con los del Grupo 7-B  
Fuego, explosión o reacción violenta

- Fuente: U.S. [Environmental Protection Agency](#), Federal Register, Vol.43 no 243 pag. 59018, U.S.A Monday, December, 18, 1978, en CETESB (1985)

---

### Pretratamiento y tratamiento de residuos peligrosos

Una de las metas de un sistema de gestión de residuos peligrosos debe ser disponer en el suelo la menor cantidad posible de residuos, optándose preferiblemente por la minimización y reciclaje en el proceso productivo, y en segunda instancia por el tratamiento para reducir la toxicidad y/o el volumen. En lo que se refiere al tratamiento, existen múltiples tecnologías de tratamiento y se van desarrollando nuevas, lo que posibilita más opciones para los generadores. En el [cuadro 3.1](#) se enumeran algunos sistemas de tratamiento existentes que pueden ser factibles y recomendables en diversos casos.

La selección de un sistema de tratamiento depende de una serie de factores tales como costo, efectividad y la situación específica, los cuales merecen una discusión mucho más detallada de la que se puede presentar en esta sección. Sin embargo, se ha considerado necesario resaltar algunos sistemas de pretratamiento que pueden ser viables en términos de costos y que en ciertos casos son indispensables para prevenir la disposición de residuos con un alto potencial de contaminación.

En esta guía, se diferencia el pretratamiento del tratamiento. Este último tiene como fin la transformación de los residuos y frecuentemente se lleva a cabo utilizando tecnologías complejas. Por otro lado, el pretratamiento se lleva a cabo con el fin de estabilizar los residuos antes de su disposición, minimizando así el posible impacto ambiental. Los sistemas de pretratamiento se aplican principalmente a los lodos, los que generalmente contienen hasta un 95% de agua y pueden generar un alto riesgo ambiental si son dispuestos directamente en un relleno de seguridad. Se han seleccionado el desecado, la solidificación y el encapsulamiento de lodos como ejemplos de pretratamiento. En algunos casos, es recomendable el pretratamiento de cenizas volátiles y otros residuos que pueden dispersarse en el aire fácilmente.

- [Desecado](#)
- [Fijación química y solidificación \(FQS\)](#)

### **Desecado**

Tal como su nombre lo indica, el desecado tiene como propósito reducir el contenido de agua en el lodo. Los procesos de desecado requieren que se lleve a cabo un acondicionamiento previo de los lodos. El acondicionamiento implica generalmente la adición de sustancias químicas tales como cloruro férrico (utilizado en lodos biológicos), cal (utilizada en lodos primarios), o polielectrolitos orgánicos. Los polielectrolitos son coagulantes orgánicos y pueden tener características aniónicas, catiónicas o no iónicas. Los dos primeros pueden ser utilizados con coagulantes inorgánicos (WB/UNEP/WHO, 1989).

Se utilizan cada vez más los coagulantes orgánicos porque requieren de poco espacio para su almacenamiento, por su alta efectividad y facilidad de manejo. Por otro lado, los inorgánicos, aunque son más baratos y accesibles, requieren de mayor espacio y por sus características corrosivas son difíciles de manipular y además aumentan el peso del lodo.

Existen métodos estáticos y mecánicos para el desecado de lodos. Los procesos estáticos incluyen los lechos de secado y las lagunas. En ambos casos los lodos, si son orgánicos, deben ser predigeridos para evitar malos olores. En el caso de los lechos de secado, los lodos se colocan sobre lechos de arena para que drenen y sequen. La remoción de las torta de lodos puede ser mecánica o manual. Por otro lado, en el caso de las lagunas de secado, los lodos se depositan dentro de la laguna para que sequen naturalmente. Es de primordial importancia tomar en cuenta la posible infiltración de líquidos de las lagunas y la consecuente contaminación de las aguas subterráneas.

Entre los sistemas mecánicos de desecado se encuentran la filtración al vacío, la centrifugación y los filtro prensa de correas o placas. Todos éstos requieren que se lleve a cabo la floculación de los lodos previo a su aplicación. Estos sistemas son más eficientes que los lechos y lagunas de secado, sin embargo son más costosos ya que implican inversión de capital y también costos mayores de operación (principalmente por consumo de energía) y mantenimiento.

---

### **Fijación química y solidificación (FQS)**

La fijación química es un proceso a través del cual se detoxifica, inmoviliza, insolubiliza o se reduce la peligrosidad de un residuo (Conner, 1986). Se logra este efecto generalmente a través de una reacción química entre uno o más componentes del residuo y una matriz sólida. Se utiliza este proceso para tratar residuos peligrosos que se encuentran en forma líquida o en lodos para producir un sólido apto para su disposición en el suelo. Los

sistemas más comunes de FQS involucran el uso de cemento solo, cemento con cenizas volátiles, cal con cenizas volátiles, y cemento con silicato de sodio. El mecanismo químico de fijación no es conocido del todo, sin embargo existen indicaciones que en el pH relativamente alcalino del cemento, los metales pesados se precipitan como hidróxidos insolubles, los que son inmobilizados dentro de la matriz sólida (Roy et. al., 1992).

El problema principal identificado con los sistemas de FQS es que son generalmente específicos para un residuo bajo determinadas condiciones (Conner, 1986). Es por esto que su aplicación debe estar precedida de pruebas piloto para determinar exactamente los parámetros de diseño. Asimismo, es importante tomar en cuenta que estos procesos requieren la adición de grandes cantidades de materiales solidificantes por lo cual el volumen del residuo se incrementa.

---

### **Encapsulamiento**

El encapsulamiento es un proceso por medio del cual el residuo es incorporado dentro de un material que lo aísla del medio ambiente, sin que los componentes del residuo se fijen químicamente al material utilizado. Entre los materiales de encapsulamiento están el vidrio, el metal, el concreto y el plástico. El vidrio es inerte a la agresión de muchas sustancias químicas, pero es bastante frágil y el proceso de encapsulamiento requiere altas temperaturas. El metal, principalmente en forma de cilindros, es más práctico; sin embargo, se corroe fácilmente. El concreto armado ha sido utilizado para el encapsulamiento de residuos con PCBs y otras sustancias orgánicas altamente tóxicas en casos donde no ha sido posible incinerarlos (WB/UNEP/WHO, 1989).

El plástico, también utilizado como material de encapsulamiento, ha demostrado resultados positivos y mínimo incremento de volumen de los residuos a disponerse. Por ejemplo, Unger y Lubowitz (1990) han desarrollado un proceso en el cual se solidifican los lodos mezclándolos con cal, posteriormente se aglomeran con polibutadieno y finalmente se les encapsula con polietileno.

El encapsulamiento es un proceso más costoso y complejo que el de la fijación química y solidificación. Sin embargo, no incrementa el volumen del residuo, por lo que se recomienda cuando el espacio dentro del relleno es restringido.

### Cuadro 3.1. Tratamiento de residuos

#### Físicos

Separación fraccionada con aire Congelamiento de suspensión Adsorción en carbón Centrifugación Diálisis Destilación Electrodialisis Electroforesis Evaporación Extracción de sustancias orgánicas líquido-líquido Filtración	Floculación Cristalización-congelación Desechado-congelación Intercambio iónico Osmosis inversa Refinación fraccionada con vapor Sedimentación Separación fraccionada con vapor Separación magnética con alto gradiente Ultrafiltración
--	--

#### Químicos

Calcinación Catálisis Clorinólisis Descarga de microondas Electrólisis Fotólisis	Hidrólisis Neutralización Oxidación Ozonólisis Precipitación Reducción
---	---

#### Biológicos

Biorecuperación Compostaje Digestión anaeróbica Filtro percolador	Laguna aereada Laguna de estabilización de residuos Lodos activados Tratamiento con enzimas
--	--

#### Tratamiento térmico

Antorcha de plasma Calderos industriales Destrucción en sal fundida Fundiciones Incineración en hornos industriales (cemento, cal, agregados)	Incineración en horno rotatorio Incineración en lecho fluidificado Incineración infrarroja Incineración por inyección
---	--

- Fuentes:

WB/UNEP/WHO/89  
[Environmental Protection Agency \(1987\)](#)

---

### **Criterios básicos para el diseño de un relleno de seguridad**

- [Relleno de seguridad dentro del sistema de manejo de residuos peligrosos](#)
  - [Relleno de seguridad en los países industrializados](#)
  - [Conceptos de barreras múltiples](#)
    - [Barrera técnica de pretratamiento de los residuos](#)
    - [Técnicas de aislamiento de los residuos](#)
    - [Barrera geológica](#)
  - [Criterio de diseño para rellenos de seguridad](#)
    - [Pretratamiento de los residuos](#)
    - [Aislamiento de los residuos](#)
    - [Barrera geológica](#)
  - [Condiciones especiales de las áreas de clima desértico](#)
    - [Pretratamiento de los residuos](#)
    - [Aislamiento de base](#)
    - [Aislamiento de la superficie](#)
    - [Tratamiento de lixiviados](#)
    - [Barrera geológica](#)
    - [Vigilancia](#)
  - [Operación del relleno de seguridad](#)
- 

### **Relleno de seguridad dentro del sistema de manejo de residuos peligrosos**

Los rellenos de seguridad son instalaciones de disposición que permiten el almacenamiento de los residuos en el suelo, aislados del ambiente. El diseño debe tener como meta principal reducir al máximo la generación del lixiviado, así como prevenir su ingreso, sin tratamiento, al ambiente. Los lixiviados son líquidos con un gran contenido de sustancias contaminantes que se generan ya sea por la disposición de residuos líquidos o semi-líquidos (lodos), por el ingreso de aguas de lluvia al relleno o por reacciones químicas dentro del mismo. Otra fuente de contaminación ambiental es el gas que se genera dentro del relleno como producto de la descomposición del material orgánico o por emisiones de sustancias volátiles.

Debido a estos riesgos ambientales, la utilización de los rellenos debe ser la última opción como tecnología de manejo de residuos. Sin embargo, es una práctica comúnmente utilizada por su bajo costo y relativamente simple tecnología.

El relleno de seguridad debe ser concebido como parte de un sistema de gestión de residuos peligrosos en el cual se tome en cuenta la minimización, reciclaje, almacenamiento, tratamiento y transporte, de tal forma que los residuos que lleguen al relleno sean exclusivamente aquellos que no pudieron ser eliminados de otra forma y que se encuentren en condiciones aptas para su disposición en el relleno.

---

### **Rellenos de seguridad en los países industrializados**

Actualmente, en los países industrializados se desalienta la disposición de residuos en el suelo debido al alto riesgo de contaminación que existe. Se invierten grandes sumas en tecnologías de tratamiento tales como la incineración, y se obliga a la industria a desarrollar metodologías de minimización para reducir o eliminar la generación de residuos. Aún así, en esos países aún no se ha logrado eliminar totalmente el uso de rellenos de seguridad para la disposición de sus residuos.

En los países industrializados, los rellenos de seguridad integran el sistema de gestión de residuos peligrosos, el cual se describe de forma esquemática en la [figura 4.1](#). Según este esquema, la gestión de los residuos peligrosos se inicia dentro de la misma planta industrial donde se deben optimizar los procesos y reciclar los residuos. De no ser esto posible, se debe llevar a cabo el pretratamiento de los residuos antes de salir de la planta. El residuo debe ser transportado al relleno por una firma especializada con personal debidamente capacitado, y acompañado de la respectiva documentación. Una vez que los residuos llegan al sitio de disposición, la documentación debe ser procesada y los residuos deben ser evaluados para determinar si sus características coinciden con los descritos en los documentos.

Los países industrializados cuentan con guías (ver, por ejemplo, Environmental Protection Agency, 1988; Gemeinsames Ministerialblatt, 1990) que describen los requerimientos para el manejo de los residuos dentro del relleno, incluyendo la impermeabilización y la prevención de accidentes por mezcla indebida, por vertimientos descontrolados y por exposición de los operarios. Estas guías estipulan requerimientos sobre la impermeabilización de la base del relleno así como sobre su ubicación con relación a la napa freática y a las características geológicas. Finalmente, requieren sistemas de recolección (drenaje de base) y tratamiento de lixiviados así como de pozos de monitoreo para el control de la contaminación de las aguas subterráneas. Recomiendan que a medida que se va utilizando el relleno, éste debe ser cerrado con un sistema de impermeabilización de superficie (en este caso, un sistema doble, para mayor seguridad) y que se debe establecer un programa de monitoreo del relleno a largo plazo.

## **Concepto de barreras múltiples**

En el diseño de un relleno de seguridad es de primordial importancia tomar en cuenta las medidas para evitar el contacto de los residuos con el ambiente. Se definen tres elementos o barreras independientes (ver [figura 4.2](#)): el pretratamiento adecuado de los residuos, la técnica de aislamiento a través de un sistema combinado de impermeabilización permanente con un drenaje eficaz para los lixiviados y un sitio favorable desde el punto de vista geológico.

---

## **Barrera técnica de pretratamiento de los residuos**

Esta barrera se refiere principalmente a la prevención del ingreso del residuo al relleno a través del reciclaje, de la incineración o a través de la inmovilización de residuos, y fue discutida en la sección 3.

---

## **Técnicas de aislamiento de los residuos**

Estas técnicas se refieren principalmente al aislamiento de los residuos dentro del relleno sea a través de materiales sintéticos o naturales. En los países industrializados se requiere generalmente el uso de ambos tipos de materiales como revestimiento para los rellenos de seguridad. Las arcillas deben cumplir con requerimientos de baja permeabilidad y suficiente profundidad para prevenir el transporte de contaminantes. Asimismo, los revestimientos sintéticos deben ser resistentes a altas presiones y a la agresión de sustancias peligrosas.

---

## **Barrera geológica**

La selección del sitio permitirá la ubicación del relleno en una zona donde exista una barrera geológica natural. De no existir, también se pueden modificar las características del suelo para crear una barrera geológica.

a barrera geológica debe cumplir una función protectora durante la operación normal del relleno y en caso de rupturas de las barreras técnicas ([cuadro 4.1](#)). Durante la operación normal del relleno, la barrera geológica debe permitir estabilidad e impermeabilidad. La estabilidad implica resistencia a la erosión y difusión, alta densidad, ceder suficientemente sin rupturas y ser poco soluble en el agua. La barrera geológica, además, debe ser impermeable, tener una profundidad suficiente y debe extenderse bajo todo el relleno. Asimismo, debe estar poco petrificado y con capas geológicas poco inclinadas para evitar rupturas geológicas.

En el caso de ruptura de las barreras técnicas, la barrera geológica debe ser poco permeable, resistente a la dispersión y difusión de contaminantes y debe tener baja presión hidráulica. Asimismo, esta barrera debe contener bastante arcilla, poder absorber el contaminante y tener capacidad limitada para hincharse.

---



## **Criterios de diseño Para rellenos de seguridad**

El diseño de un relleno de seguridad debe seguir ciertos criterios básicos que aseguren la disposición segura de los residuos, la protección del ambiente y la utilización eficiente de la mano de obra, equipos y capacidad del relleno. Se propone un sistema simplificado para el diseño de rellenos de seguridad. Se considera que este diseño exige lo mínimo indispensable para la protección del ambiente, y es viable en los países de la Región. Por esta razón se excluyen los revestimientos sintéticos y se proponen criterios menos estrictos para las capas de aislamiento. Por otro lado, el diseño de un relleno de seguridad, aún cuando se considere simplificado, debe incluir requerimientos de aislamiento que no se observarían en rellenos diseñados para la recepción de residuos domésticos o residuos industriales inertes. En la [figura 4.3](#) se presentan los requerimientos mínimos de las barreras técnicas y geológicas para un rellenos de seguridad. Los métodos principales de construcción de un relleno son:

- **Fosa o trinchera.**

Donde se remueve material del suelo y se rellena con residuos, según la [figura 4.4](#) Este diseño es factible cuando la napa freática es relativamente profunda y tiene como beneficio que las paredes del relleno serán estables. El inconveniente principal en este caso es la mayor dificultad en la recolección y en el control de los lixiviados.

- **Talud o área.**

Donde se depositan los residuos sobre el suelo, según la [figura 4.5](#) Se utiliza este diseño cuando la superficie del terreno presenta características favorables, incluyendo una ligera pendiente. Este tipo de relleno es recomendable cuando la napa freática se encuentra relativamente alta.

La disposición dentro del relleno se lleva a cabo dentro de celdas cuyas dimensiones varían dependiendo de las condiciones del terreno, cantidad, tipo y estado físico de los residuos. Siguiendo el esquema de barreras múltiples mencionado en la sección 4.3, se presentan opciones para cada una de éstas.

---

## **Pretratamiento de los residuos**

Muchas veces es necesario llevar a cabo el pre-tratamiento de los residuos con tecnologías apropiadas, preferiblemente simples y de bajo costo, algunas de las cuales han sido discutidas en la Sección 3.

---

## **Aislamiento de los residuos**

El aislamiento de los residuos se logra a través de la impermeabilización de la base, de los costados y superficie del relleno y del manejo de los líquidos para evitar, en lo posible, el ingreso de líquidos al relleno. Los líquidos que lograron

ingresar al relleno deben ser recolectados y tratados. El sistema de aislamiento del relleno de seguridad comprende:

- **Impermeabilización.**

Se debe usar material mineral apropiado en 3 capas con un espesor mínimo de 30 cm cada una. Cada capa debe contener suficiente arcilla como para asegurar una permeabilidad (K) no mayor a  $10^{-9}$  m/s. Para lograr esta permeabilidad en el campo, el material debe demostrar una permeabilidad de  $5 \times 10^{-10}$  m/s en el laboratorio. Se deben realizar ensayos de Proctor en el laboratorio para asegurar las condiciones óptimas de este material, las que son representadas por las siguientes funciones:

$$K = f(w)$$

$$K = f(i)$$

$$p = f(w)$$

donde:

K = coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica

w = contenido de agua

p = densidad seca

i = gradiente del flujo en el ensayo de permeabilidad

En el anexo 1 se discuten, en mayor detalle, las características óptimas para las arcillas impermeables.

- **Drenaje de lixiviados.**

Se requiere de un drenaje de lixiviados a través de un mecanismo de infiltración extendido sobre la superficie de la base del relleno. Debe consistir de piedras o arena con grava no soluble, con granos preferiblemente mayores de 35 mm y el espesor de la capa no debe ser menor de 30 cm. Asimismo, se debe instalar tuberías perforadas de drenaje de diámetro igual o mayor de 30 cm. Las tuberías deben estar en pendiente a una distancia equidistante de 10 m. En la [figura 4.6](#) se presentan dos opciones de drenaje de fondo. La primera consta de una pendiente de 2% sobre toda la base del relleno, encima de la cual se instala la capa de drenaje con las tuberías corriendo paralelamente a la pendiente. La segunda requiere tan sólo una pendiente de 1% sobre toda la base del relleno. En este caso las tuberías se instalan sobre una superficie ondulada. Las tuberías se deben colocar en el punto más bajo de los cauces y deben tener una pendiente de 3% hacia ellas. La selección de una de estas opciones dependerá principalmente de la pendiente del terreno.

Asimismo, sobre la capa de drenaje se debe instalar una membrana mineral o sintética (es decir una geomembrana) que prevenga el ingreso de material suspendido y la consecuente saturación de la capa de drenaje.

El drenaje de los lixiviados al exterior del relleno debe instalarse en el punto más bajo del relleno. En este punto se debe instalar un sistema de triple seguridad (incluyendo material sintético) tal como se puede observar en la [figura 4.7](#)

- **Decubrimiento de la superficie.**

Este es el instrumento de seguridad a largo plazo más importante para la minimización de la infiltración de aguas de lluvia dentro del relleno y para minimizar la generación de lixiviados después del cierre completo del relleno.

En el caso que exista la posibilidad de generación de gases en el relleno, se debe instalar un sistema de captación de gases. Para esto, se cubre el relleno con una capa de por lo menos, 30 cm de piedras/gravas o escombros de construcción con diámetros de 100 mm, antes de la capa de impermeabilización. Esta capa, tiene como función equilibrar el relleno ante la compactación diferencial y por lo tanto protegerá a las capas impermeables superiores.

Sobre la anterior capa, se deben instalar tres capas de impermeabilización. La primera capa de impermeabilización forma al mismo tiempo el recubrimiento espontáneo después de finalizada la celda del relleno. Debido a la compactación, esta capa no podrá tener la misma calidad que la segunda capa, la que se construye después de disminuir la compactación en el relleno (2 a 3 años). La impermeabilización superficial debe tener una inclinación mayor de 3%.

Sobre las capas de impermeabilización, se debe colocar una de drenaje superficial para la captación de las aguas de lluvia de un espesor igual o mayor de 30 cm constituido de grava/arena con una permeabilidad (K) mayor o igual a  $1 \times 10^{-3}$  m/s. Esta capa debe estar conectada a un canal superficial perimetral de captación y recolección de las aguas superficiales. Finalmente, se debe cubrir el relleno con una capa de suelo humoso con un espesor mayor o igual a 30 cm. El área debe ser cultivada con plantas de raíces superficiales, por ejemplo grama. Debe evitarse la plantación de árboles ya que éstos dañarán el sistema de aislamiento superficial del relleno. Asimismo, debe asegurarse que el área del relleno sea utilizado para fines que no requieran construcción u otras actividades que puedan dañar el sistema de impermeabilización del mismo.

---

### **Barrera geológica**

Esta es la última barrera en caso de ruptura y daño de las otras barreras. Las condiciones limitantes pueden garantizar la función de esa barrera a largo plazo. Según las clases de rellenos recomendados en esta guía, la barrera geológica es indispensable para los rellenos clase 3 (residuos peligrosos). Se requieren capas geológicas, lo más homogéneas posibles, con una profundidad mayor de 3 m, y

permeabilidad de 10<sup>-7</sup> m/s. Estos suelos o rocas, por lo tanto deben tener un contenido suficiente de arcilla.

La aptitud de los diferentes tipos de suelos y rocas base para la instalación de rellenos de seguridad puede observarse en la [figura 4.8](#). Por lo general, los sedimentos gruesos no son aptos debido a su alta permeabilidad. El mismo criterio se aplica a las rocas calcáreas con cuevas y fisuras grandes.

Si la zona seleccionada para el relleno no es homogénea o tiene mayor permeabilidad que la que se requiere, entonces será necesario cambiar los suelos y sustituirlos por material apropiado ([figura 4.8](#)). En caso que se encuentre la napa freática a una distancia menor de 1 m (en su nivel más alto) a la base proyectada del relleno, será necesario levantar el área con material apropiado.

Asimismo, el perfil del suelo es de gran importancia para la estabilidad del relleno. Si ha habido la necesidad de reemplazar sedimentos, el área del relleno deberá ser menor al área de reemplazo dejando 5 metros a cada lado como medida de prevención ([figura 4.9](#)). Si el índice de pendiente del terreno es menor de 1:7 entonces el relleno podrá ser instalado sin modificar el perfil. Sin embargo si este índice supera esta proporción, el perfil del terreno deberá ser modificado, instalándose el relleno en terrazas.

La importancia de la barrera geológica hace que se requiera una investigación profunda de campo para medir parámetros tales como permeabilidad, homogeneidad, composición del suelo, de la roca, etc. así como una evaluación completa de las condiciones geológicas e hidrogeológicas.

---

### **Condiciones especiales de las áreas de clima desértico**

Existen zonas en la Región de América Latina donde la cantidad de lluvia anual es muy baja, por lo que se las considera desérticas. En estos lugares se presentan condiciones especiales que permiten mayor flexibilidad de los requerimientos para el diseño de los rellenos de seguridad. En esta sección se dan las pautas para la instalación de rellenos de seguridad en estas zonas.

Se considera que una zona desértica tiene una precipitación anual menor de 200 mm. Por lo general, la vegetación en estas zonas es mínima, y la napa freática se encuentra a una profundidad de 20 metros o más. Asimismo, la relación precipitación/ evapotranspiración es muy baja. Como resultado, el riesgo de generación de lixiviados por percolación de lluvias es mínimo. Aún así se requiere un manejo adecuado de los residuos y medidas preventivas. A continuación se discuten las modificaciones posibles a los lineamientos dados en las secciones anteriores.

---

### **Pretratamiento de residuos**

El pretratamiento de lodos sin olor penetrante (por ejemplo, lodos de la industria de galvanoplastia) y no polvorientos puede realizarse en el mismo relleno, esparciéndolos dentro del relleno, permitiendo que se evapore el exceso de agua antes de su recubrimiento.

---

### **Aislamiento de base**

Para el aislamiento de la base se debe instalar una capa de arcilla de una profundidad de 0.3 metros con una conductividad hidráulica de por lo menos 10-9 m/s. Debido a que la velocidad de evaporación del agua en las zonas desérticas tiende a ser elevada, es necesario tomar precauciones para conservar el tenor de humedad óptimo de la arcilla con el fin de lograr la impermeabilización deseada.

Si no es posible tener la barrera geológica recomendada en la sección 4.5.5, se puede compensar esta deficiencia con una capa adicional de 0.3 metros y permeabilidad no mayor a 10-9 m/s.

Sobre esta(s) capa(s) de aislamiento se requiere colocar una capa de drenaje de 0.3 metros, con permeabilidad igual o mayor que 10-3 m/s. En este caso no se requiere la instalación de tuberías de drenaje dentro del relleno.

En el punto más bajo del relleno se deberá instalar un sistema de captación de lixiviados. Este requerirá una capa sintética de aproximadamente 10 metros por 10 metros con fundición de doble seguridad a la tubería de salida, similar al sistema de la [figura 4.6](#)

---

### **Aislamiento de la superficie**

Al cierre del relleno, se debe cubrir con una capa de material grueso, como, por ejemplo escombros de construcción, que permita la captación de gases. Se debe realizar un estudio meteorológico para evaluar la relación precipitación/evapotranspiración en la zona del relleno. Si esta relación es muy pequeña, entonces no será necesario instalar una capa de impermeabilización. Se instalará en este caso, tan solo una capa de suelo como recubrimiento final.

Por otro lado, si el estudio meteorológico determina que existirá la posibilidad de infiltración de lluvia, entonces se deberá instalar una capa impermeable aunque no necesariamente de la calidad de la instalada en la base. No es necesario controlar el asentamiento del relleno.

No se requiere un sistema de drenaje de lluvias. Si el estudio meteorológico determina la posibilidad de escorrentías, se deberá instalar un sistema de drenaje circular para evitar el ingreso de estas aguas a la zona del relleno.

---

## **Tratamiento de lixiviados**

La generación de lixiviados es posible y depende de la humedad contenida en los residuos dispuestos en el relleno. Por ello es necesario instalar un tanque de recolección de lixiviados. Los lixiviados pueden ser reciclados directamente al relleno ya que la cantidad de lixiviados será pequeña y el relleno estará bajo condiciones de no-saturación y sin problemas de estabilidad.

---

## **Barrera geológica**

Dado que el nivel del agua subterránea es bastante profundo, la zona insaturada tendrá una función atenuante. Esta zona se caracteriza por un flujo lento de agua y tiene una gran capacidad de absorción de líquidos percolados, por ello constituye un elemento de seguridad adicional. Se debe procurar tener una barrera geológica con una profundidad mínima de 3 metros con una permeabilidad máxima de 10<sup>-5</sup> m/s.

---

## **Vigilancia**

Se requiere un estudio mínimo de la hidrogeología del lugar donde se evalúe la profundidad de la napa freática y la dirección del flujo de las aguas subterráneas. Se deberán instalar dos pozos de vigilancia, uno, aguas arriba del relleno, y otro, aguas abajo. Los parámetros a ser analizados serán los mismos que los enumerados en la sección 4.3.

---

## **Operación del relleno de seguridad**

El control de calidad de las tres barreras durante la construcción y operación del relleno debe ser garantizado por la:

- Presencia permanente de un ingeniero especialista durante la construcción y durante la inspección final en representación de la autoridad de control.
- Presencia permanente de un ingeniero especialista de la empresa durante la construcción y operaciones, quien debe realizar mediciones periódicas y suficientes, así como registrar y evaluar los trabajos.

El último control posible, antes del impacto ambiental, es el control de la calidad de las aguas subterráneas cercanas. Por este motivo, los pozos de monitoreo se deben instalar según las indicaciones del geólogo, con la aprobación de la entidad de control. Se deben instalar, por lo menos, cuatro pozos de vigilancia: uno arriba del relleno, y tres bajo el relleno siguiendo el flujo del agua subterránea.

Es indispensable una medición regular y periódica (trimestral) en todos los pozos de vigilancia de los siguientes parámetros:

1. Nivel del agua (SNM)
2. Temperatura

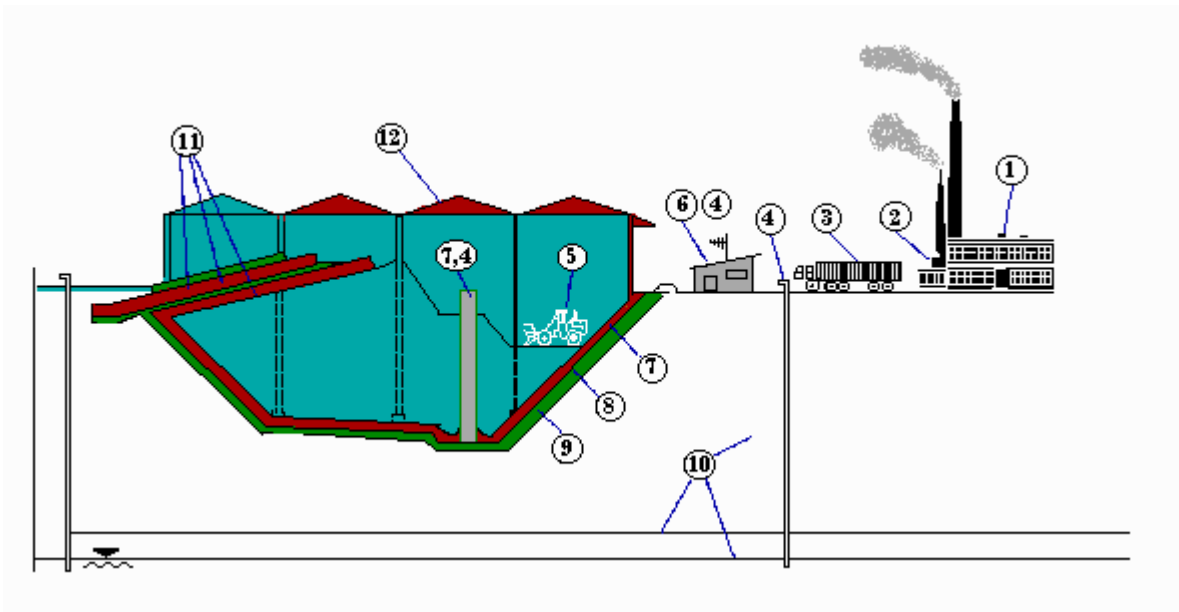
3. pH
4. Conductividad
5. DQO
6. DBO
7. NO3
8. SO4
9. Coliformes totales RTC
10. Hidrocarburos
11. Cd
12. Cr total
13. As
14. CN

La evaluación se debe presentar cada 6 meses a la entidad de control. Las irregularidades se deben presentar a la autoridad responsable lo más pronto posible (48 horas). Asimismo, el operador debe tomar en cuenta la interdependencia del contenido de lixiviados en el relleno y la estabilidad mecánica del mismo. Es decir, si se permite el ingreso de aguas de lluvia al relleno, existe el riesgo que pierda estabilidad y se ocasionen deslices o derrumbes.

**Cuadro 4.1. Funciones de seguridad de la barrera geológica**

Caso normal		Caso de ruptura (de las barreras técnicas)		
Estabilidad		Impermeabilidad		Capacidad de absorción
		<b>Alta capacidad de aislar los desechos</b>		
Estabilidad estática Resistencia a la erosión y al asentamiento Alta densidad Suficiente deformación sin ruptura Poco soluble		Homogéneo Suficiente espesor Extensión en todo el sitio Poca petrificación (diagénesis) Sin rupturas geológicas Capas geológicas poco inclinadas	Poco permeable Poca dispersión y difusión Baja presión hidráulica	Bastante arcilla Capacidad suficiente para absorber Capacidad suficiente para incharse

**Figura 4.1. Representación esquemática del Sistema de gestión de residuos peligrosos**

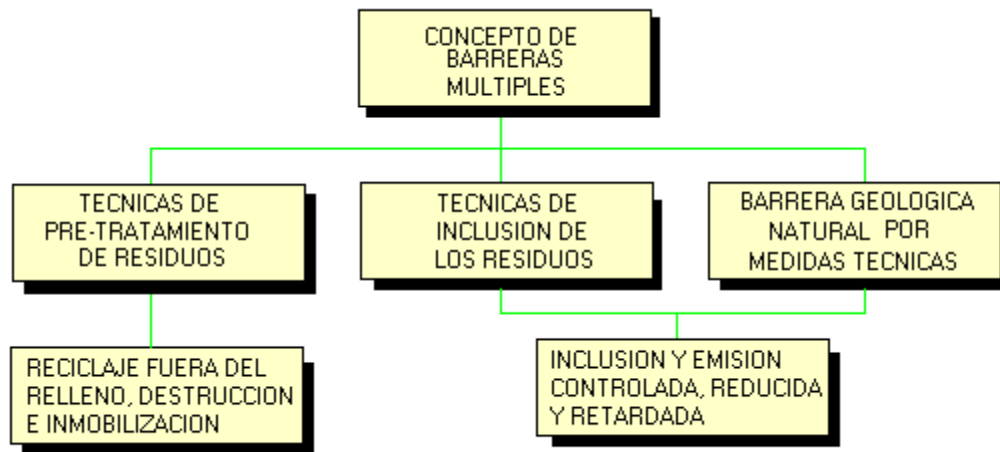


- |  |   |
|--|---|
| 1. Evitar la generación de residuos, reciclar                                | 7. Recolección de los lixiviados (drenaje de base) y tratamiento                        |
| 2. Pretratamiento  | 8. Impermeabilización base (material sintético)   |
| 3. Transporte efectuado por una firma especializada c/personal especializado | 9. Impermeabilización base (mineral)  |
| 4. Controles   | 10. Geología del lugar de emplazamiento (subsuelo, cambio de petrología, napa freática) |
| 5. Técnica de manejo   | 11. Sistema de impermeabilización de superficie   |
| 6. Registro, documentación   | 12. Techado   |



---

**Figura 4.2. Componentes especiales del concepto de barreras múltiples para los sitios de desechos**





**Figura 4.4. Sección esquemática de un relleno de seguridad (fosa o trinchera)**

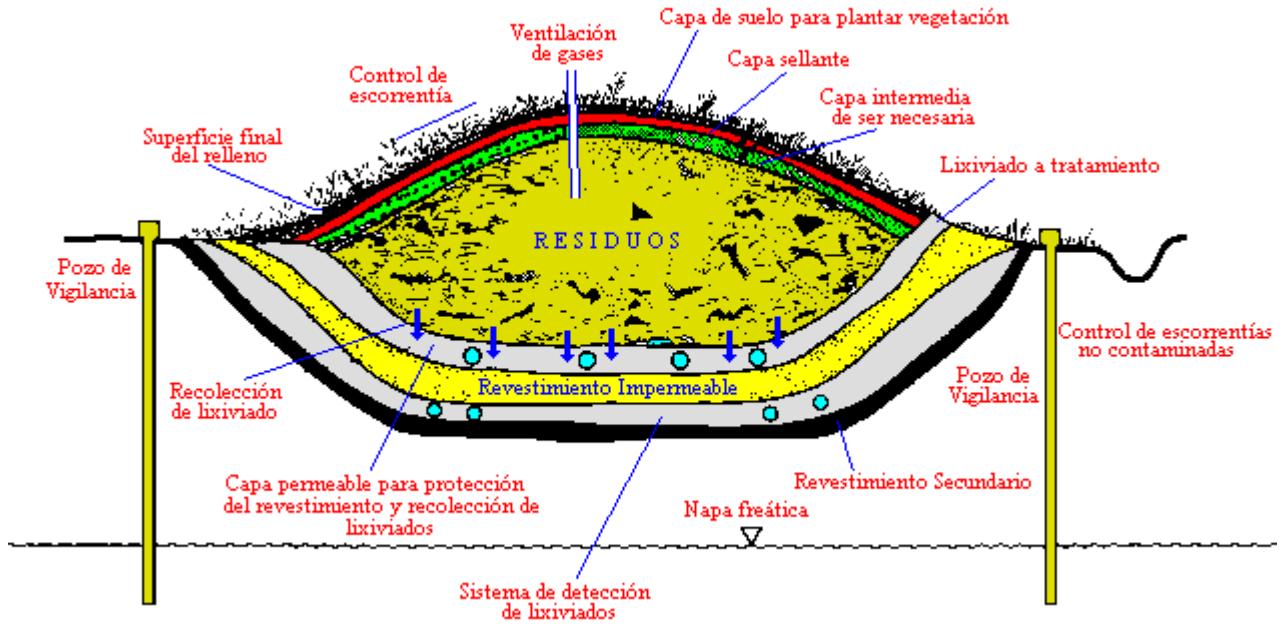


Figura 4.5. Modelo de una instalación de relleno de seguridad (talud)

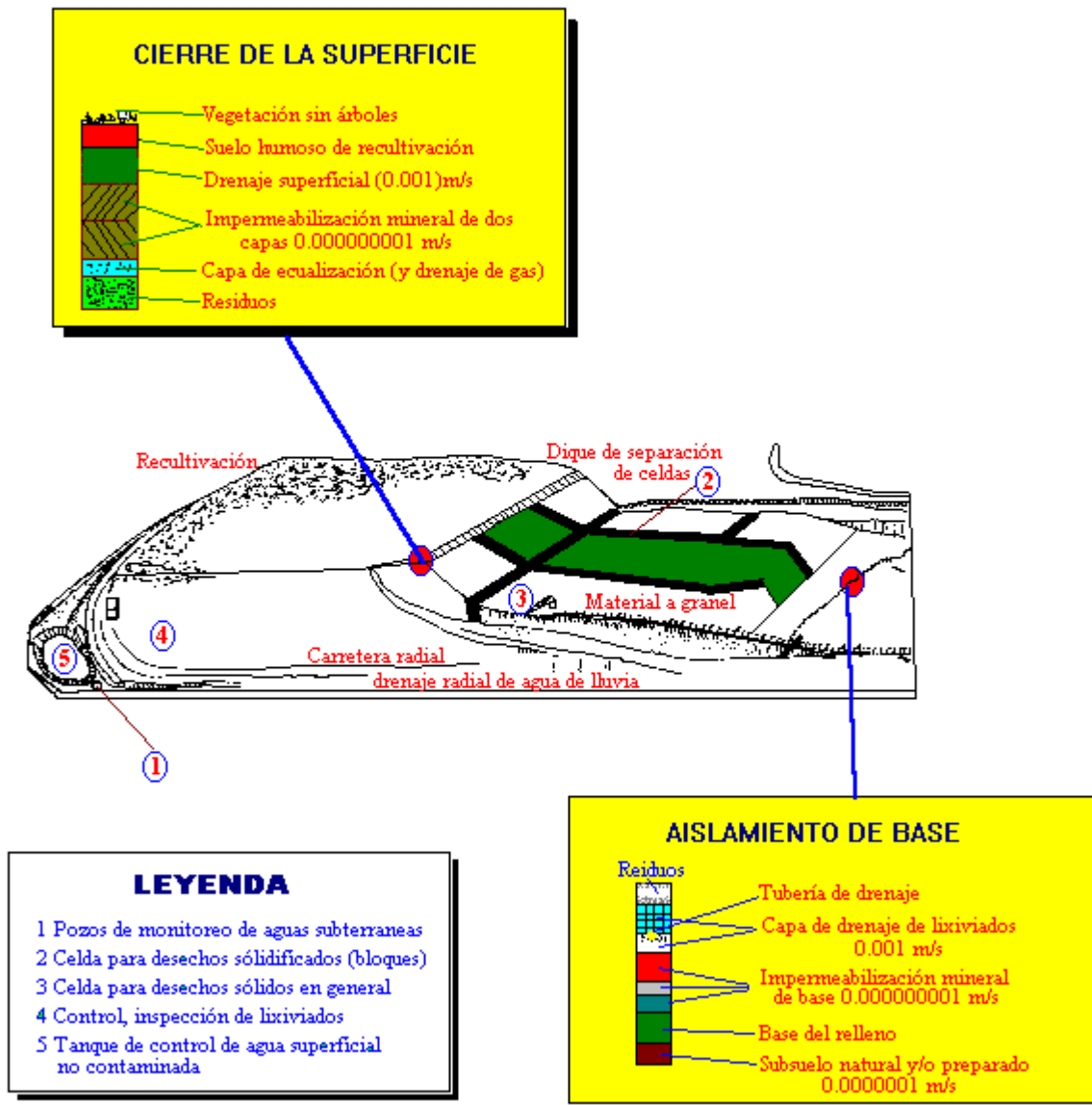
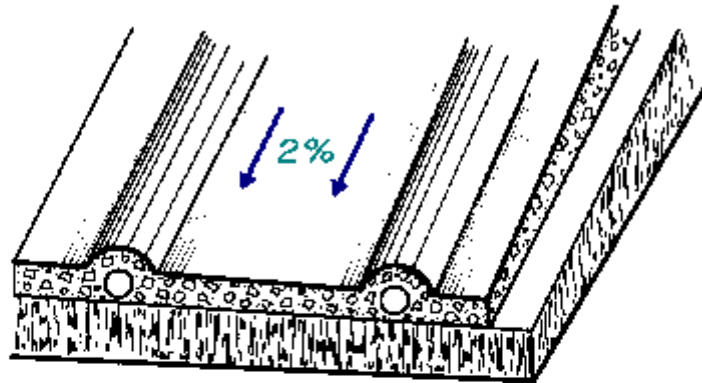


Figura 4.6. Alternativas de drenaje de fondo

ALTERNATIVA 1



Tubería 0.3m.  
Drenaje de area  $1 \times 0.3\text{m}$  ,  $k = 10^{-3} \text{ m/s}$

ALTERNATIVA 2

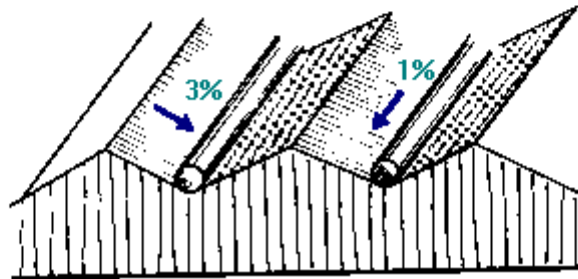


Figura 4.7. Sistema de triple seguridad para la recolección de los lixiviados

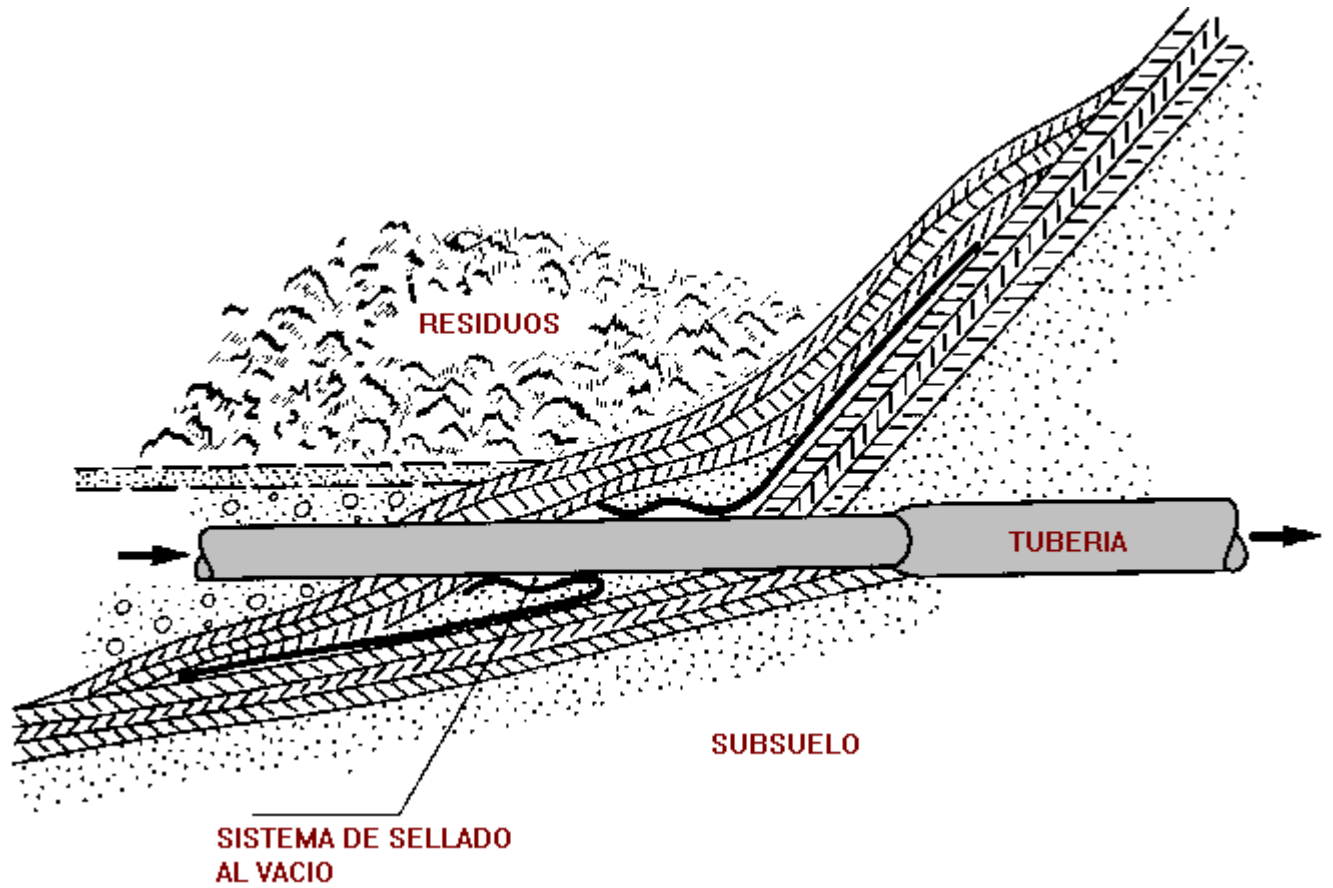


Figura 4.8. Aptitud de los diferentes tipos de suelos para la instalación de rellenos de seguridad

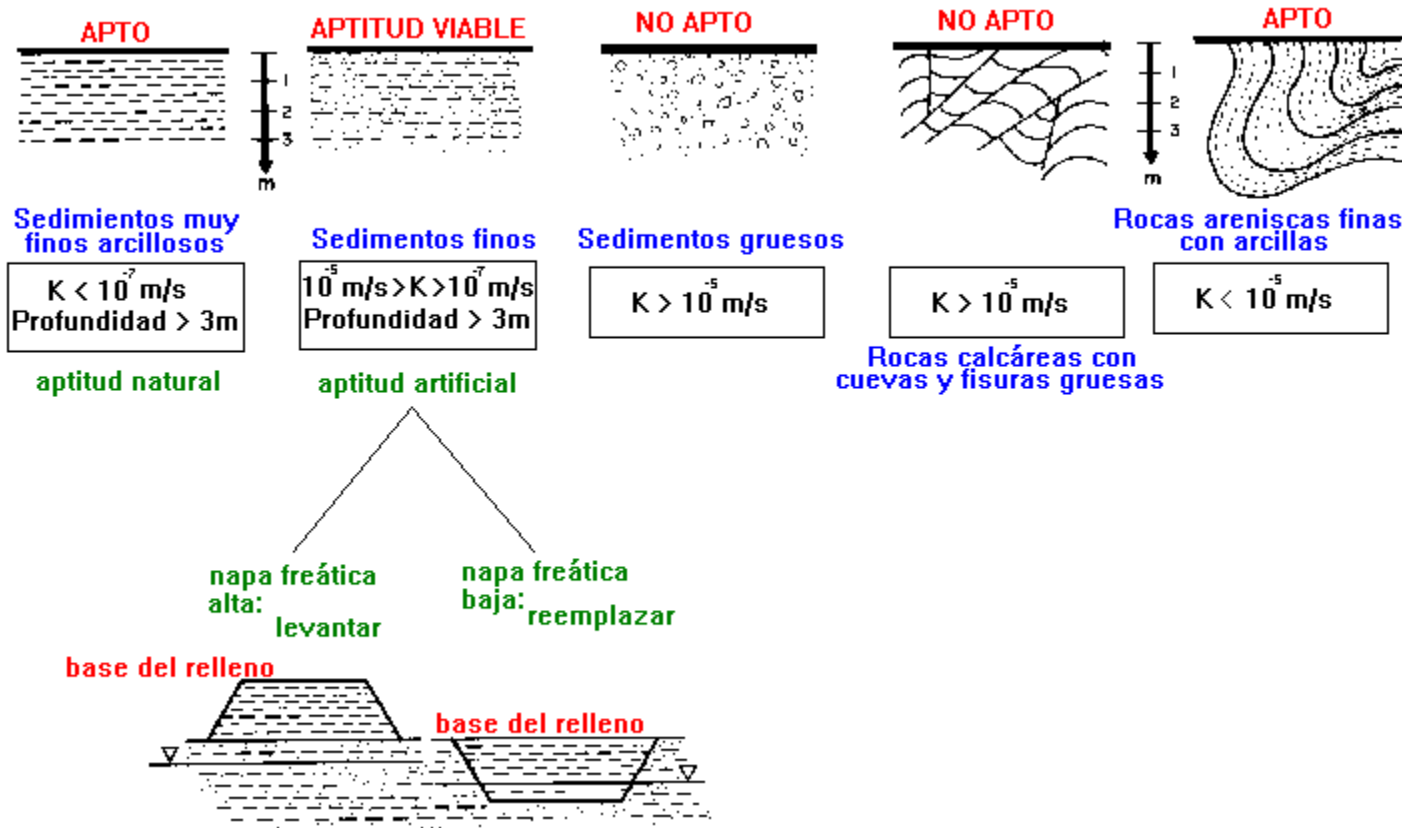


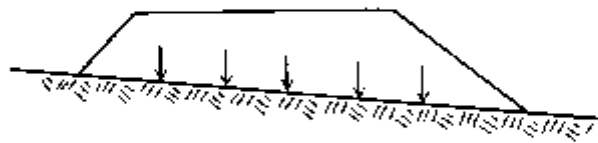
Figura 4.9. Estabilización del relleno

**CASO DE REEMPLAZO DE SEDIMENTOS**

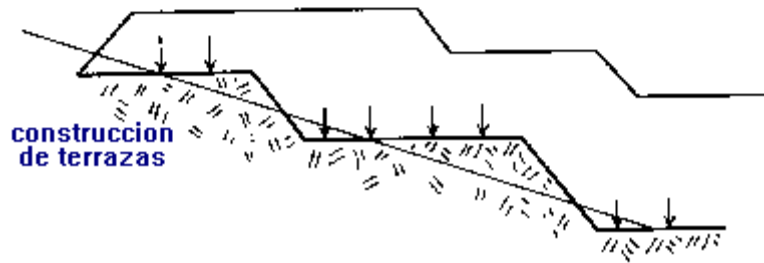


**CASO DE RELLENO DE TALUD**

pendiente  
del terreno < 1:7



pendiente  
del terreno < 1:7





---

## Procedimientos para la ubicación de un relleno de seguridad

Tal como se mencionó en la sección anterior, la barrera geológica tiene una profunda importancia por ser la última barrera de protección para prevenir el ingreso de los residuos al ambiente. Por esto la geología tiene un factor importante en el proceso de ubicación del relleno. Sin embargo, la ubicación no depende únicamente de las características geológicas del lugar, están involucrados factores tales como (Sittig, 1979):

1. Suelos y geología del sitio
2. Aguas subterráneas
3. Topografía
4. Aguas superficiales
5. Usos del suelo
6. Areas ambientalmente sensibles
7. Vegetación
8. Facilidad de acceso al sitio
9. Sitios con significado histórico o arqueológico
10. Tamaño y tiempo de vida del sitio
11. Costos

El proceso de búsqueda de sitios para rellenos de seguridad en los países de la Región se debe realizar en cuatro niveles ([cuadro 5.1](#)). Inicialmente, se debe determinar el área de búsqueda tomando como base los mapas disponibles dentro de la jurisdicción. En este punto se deben aplicar los criterios de exclusión a gran escala según las normas existentes en el país, tales como: geología, cuerpos de agua, zonas urbanas, naturaleza, tránsito, infraestructura y topografía. Estos criterios de exclusión, excepto el de hidrogeología, son negativos, es decir eliminan áreas potenciales para la instalación del relleno.

Se recomienda utilizar el proceso que se emplea en la planificación territorial, en donde para cada una de las variables se prepara un mapa (en papel transparente) delimitando las zonas de exclusión e indicando las zonas de interés, en el caso de la hidrogeología (CETESB, 1985). Es importante preparar sistemáticamente cada uno de estos mapas y establecer que las partes más oscuras sean las de exclusión para evitar posibles confusiones.

En el [cuadro 5.2](#) se presenta una metodología con los criterios de exclusión y de evaluación que determinan la factibilidad para la ubicación del relleno en las zonas de evaluación. El estudio se realiza en tres etapas:

- [Primera etapa de exclusión](#)
  - [Segunda etapa de evaluación](#)
  - [Tercera etapa de evaluación](#)
-

### **Primera Etapa de Exclusión**

Se evalúa la aptitud del subsuelo del relleno y el nivel de la napa freática antes que los demás criterios. Si el emplazamiento no cumple con estos criterios, debe ser eliminado automáticamente.

---

### **Segunda Etapa de Evaluación**

Si los terrenos evaluados no son excluidos en la etapa anterior, se les considera como básicamente aptos para un relleno de residuos peligrosos. Seguidamente, (véase [cuadro 5.2](#)) todas las áreas deben ser examinadas según los criterios (2) hasta (5) en cuanto a su grado de aptitud, o sea "Negativa", "Escasa", "Limitada" o "Positiva". Se deben describir las instalaciones de infraestructura técnica y social y las otras de uso territorial (6) dentro de las zonas de búsqueda. Los eventuales terrenos deben tener un área aceptable (>25 ha) y según las necesidades técnicas del relleno se determina su ubicación exacta. Estos terrenos deben ser evaluados nuevamente con respecto a su aptitud según los criterios (2) hasta (6).

---

### **Tercera Etapa de Evaluación**

Las eventuales áreas de evaluación propuestas se deben describir en relación a los otros usos del área cercana de influencia (Criterio 7), mencionándose el grado de aptitud resultante para cada área apta de emplazamiento.

Es vital tener una comprensión clara del alcance de cada uno de los criterios mencionados en el [cuadro 5.2](#) para lograr su aplicación. En este sentido, se presentan a continuación algunos comentarios para cada uno de ellos.

- **Geología del terreno/Nivel de la napa freática**

Los criterios "Geología del terreno" y "Nivel de la napa freática" son de gran importancia. Normalmente se da prioridad a la Alternativa A (véase comentario al pie del [cuadro 5.2](#)). Si esta Alternativa no es posible, entonces la Alternativa B es de prioridad obligatoria. Para el dictamen sobre las aguas subterráneas los siguientes criterios pueden ser de utilidad:

- Distancia entre las aguas subterráneas y la superficie del suelo.
- Dirección del flujo del agua subterránea.
- Evitar afluentes superficiales. Teniendo en cuenta estos criterios, se puede encontrar que algunos lugares de emplazamiento resultan menos aptos que otros. Asimismo se deben determinar los índices de precipitación y evapotranspiración, debiéndose favorecer una evapotranspiración mayor a la precipitación.

La topografía del lugar debe ser evaluada a fin de evitar pendientes, depresiones naturales significativas, potencial de erosión, deslizamientos de tierra, o áreas sujetas a inundaciones.

- **Aguas superficiales**

Se trabaja con el principio que todo cuerpo de agua con uso real o potencial debe ser protegido. Por este motivo, los rellenos de seguridad no deben ser instalados dentro de áreas de influencia de las captaciones de aguas o dentro de áreas reservadas para uso futuro. En algunos países existen normas de distancias mínimas a cualquier fuente de abastecimiento de agua para consumo humano o animal. Por ejemplo, en Sao Paulo, Brasil, esta distancia es de 200 m (CETESB, 1985). En otros casos, es posible que los criterios de protección de aguas se den a nivel de cuencas.

- **Zonas urbanas**

Se deben excluir zonas urbanas o aquellas planificadas para uso urbano.

- **Naturaleza/Conservación del paisaje**

Se debe evitar la ubicación de un relleno en zonas naturales protegidas, ya sea parques naturales o zonas históricas y arqueológicas.

- **Transportes y Comunicaciones**

El relleno debe estar ubicado de tal forma que sea accesible desde una carretera o ferrocarril. Sin embargo, es importante considerar las rutas que se deberán tomar para llegar al sitio, evitando zonas pobladas o de alto riesgo. Por otro lado, con el fin de reducir costos de transporte, es deseable la ubicación cercana del relleno a los puntos de generación de residuos.

- **Otros usos territoriales e infraestructura**

Se agrupan aquí varios criterios, entre los cuales es importante tomar nota de las zonas mineras. En este caso, es importante evaluar el uso real o potencial que puede tener la zona para la explotación de minerales. Asimismo, la zona puede encontrarse dentro del alcance de algún plan territorial que excluya su uso para un relleno de seguridad.

- **Otros usos fuera de la zona definida pero en el área de influencia**

Este último grupo de criterios se evaluará en una etapa final. Aunque éstos no tienen necesariamente una influencia directa sobre el emplazamiento del relleno, pueden llegar a ser el criterio decisivo para la selección de un punto versus otro. Por ejemplo, el valor de la tierra para uso agrícola, puede ser un factor decisivo.

Tal como se mencionó anteriormente, los criterios de exclusión y evaluación deben ser aplicados en varios niveles, inicialmente en gran escala, y posteriormente en pequeña escala. De esta forma, se deben determinar tres sitios prometedores tomando como base las investigaciones preliminares y la revisión de los criterios de exclusión en pequeña escala. Es importante tener en cuenta que se requiere por lo menos 25 hectáreas de terreno para el relleno, y que la forma del mismo sea adecuada para su uso.

Luego, se llevan a cabo estudios de impacto ambiental, incluyendo investigación de campo. La institución responsable deberá tomar una decisión en este punto, la que dependerá de las evaluaciones ambientales, así como de aspectos tales como facilidad de compra del terreno. Asimismo, la participación de la comunidad debe ser tomada en cuenta y debe ser programada a través del proceso de selección del sitio.

Finalmente, se debe diseñar el relleno para el sitio seleccionado. El diseño debe contemplar las medidas de protección ambiental. La planificación para el sitio deberá incluir la construcción, operación y control del relleno, así como el cierre, recultivación, vigilancia y control posterior.

**Cuadro 5.1. El proceso de búsqueda de sitios para los rellenos de seguridad en la región**

<b>Etapa</b>	<b>Nivel de planificación</b>	<b>Area implicada</b>	<b>Método</b>
1	Determinación áreas de búsqueda mediante mapas disponibles	Area de búsqueda, determinada según la jurisdicción de la autoridad de control	Superposición de criterios de exclusión 1) Geología 2) Aguas 3) Zonas Urbanas 4) Naturaleza 5) Tránsito 6) Infraestructura 7) Topografía
2	Determinación de tres sitios prometedores tomando como bases investigaciones preliminares	Algunas áreas de búsqueda	Revisión de los criterios de exclusión en menor escala. Superposición de criterios de evaluación bajo la consideración de un corte de terreno suficiente (25 ha)
3	Estudio ambiental comparable al contexto de la investigación principal de los tres sitios	Tres sitios favorables	Investigación de campo, comparación y evaluación de los tres sitios. Decisión de la institución responsable
4	Diseño del relleno en el sitio propuesto. Diseño de las medidas para la protección del ambiente	Un sitio propuesto	Planificación de: - Construcción - Manejo del relleno - Control - Recultivación con vigilancia y posterior control

**Cuadro 5.2. Reconocimiento del lugar de emplazamiento territorial y ambiental de un relleno de residuos peligrosos**

APTITUD	Geología del terreno/ Nivel de la napa freática	Gestión de aguas	Zonas urbanas	Naturaleza/conservación del paisaje	Transporte y comunicaciones	Otros usos territoriales e infraestructura	Otros usos fuera de la zona definida por el área de influencia
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
<b>CRITERIOS DE EXCLUSION</b>							
	<b>Primera etapa</b>	<b>Segunda etapa</b>					<b>tercera etapa</b>
<b>NEGATIVA</b>	Incumplimiento de las condiciones mínimas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zonas protegidas de aguas medicinales</li> <li>Zonas de uso restringido por reservas de aguas</li> <li>Zonas de inundación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zonas industriales y urbanas</li> <li>Distancia a áreas residenciales menor de 200m. (preferiblemente 500m)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zonas naturales protegidas</li> <li>Parques naturales protegidos</li> </ul>	Imposibilidad de conexión a una carretera (distancia mayor de 5 Km).	Incompatibilidad con la planificación nacional y regional Influencia nocivas por minas subterráneas y zonas de explotación mineral Zonas para fines públicos especiales Zonas de esparcimiento y recreación Sitios de cura (Dist. < 500m.)	
<b>CRITERIOS DE EVALUACION</b>							
<b>ESCASA</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Ubicación periférica con respecto a las áreas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Areas residenciales en una distancia menor a 500m.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ubicación cercana respecto a las áreas mencionadas arriba (aprox. 100m)</li> </ul>	Conexión a un sistema de carreteras <ul style="list-style-type: none"> <li>con limitaciones en el</li> </ul>	Zonas y localidades para fines públicos especiales <ul style="list-style-type: none"> <li>Zonas para universidades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Protección de la naturaleza y del paisaje</li> <li>Zona de</li> </ul>

		<p>reservadas para la gestión de aguas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aguas superficiales con cuencas de más de 3Km<sup>2</sup> o con formación marcada del valle</li> <li>• Aguas superficiales con áreas mayores a 500 m<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viviendas individuales a una distancia menor de 200m.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flora y fauna protegida</li> <li>• Bosques naturales</li> <li>• Bosques de recreación</li> <li>• Otras superficies boscosas</li> </ul>	<p>uso (por ejemplo, protección de aguas)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pasando por localidades o tocando poblados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zonas escolares de importancia regional</li> <li>• Zonas de hospitales de importancia regional</li> <li>• Zonas de aprovisionamiento inclusive: <ul style="list-style-type: none"> <li>Centrales eléctricas</li> <li>Transformadores</li> <li>Captación de agua</li> <li>Planta de tratamiento de agua</li> <li>Otra instalación de aprovisionamiento</li> <li>o Carreteras nacionales</li> </ul> </li> </ul>	<p>protección de recursos de aguas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zonas para la gestión de aguas</li> <li>• Puntos clave de esparcimiento</li> <li>• Zonas de despegue y aterrizaje</li> <li>• Zonas para fines públicos especiales</li> <li>• Zonas protegidas de fuentes medicinales</li> <li>• Aprovechamiento agrícola en suelos de alta calidad</li> <li>• Zonas de pozos domésticos o para pastoreo</li> <li>• Zonas para explotación superficial de recursos minerales</li> <li>• Bandas de conducción/vías de radioenlace</li> <li>• Líneas de transmisión</li> </ul>
<b>LIMITADA</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aguas superficiales con cuencas entre 1 y 3 Km<sup>2</sup></li> <li>• Aguas superficiales con áreas mayores de 200 m<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viviendas individuales a una distancia menos de 500m</li> <li>• Monumento dentro del lugar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monumentos naturales y geológicos</li> <li>• Zonas de protección de paisajes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conexión a un sistema de carreteras eficiente sin pasar por localidades</li> </ul>		
<b>POSITIVA</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otras aguas superficiales de ellas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No existen viviendas en una distancia menor de 500m.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zonas libres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conexión a un sistema de carreteras eficiente sin pasar por localidades y si</li> </ul>		

					contacto con zonas pobladas.		eléctrica desde 110 Kv <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oleoductos</li> <li>• Gaseoductos</li> <li>• Canales de agua</li> <li>• Zona agraria</li> <li>• Otros usos sensibles</li> </ul>
--	--	--	--	--	------------------------------	--	---

**CRITERIOS RELACIONADOS A LA APTITUD POSITIVA**

Correspondiente a la Columna (1): Geología del terreno/Nivel de la Napa Freática

- El área de emplazamiento del relleno debe hallarse como mínimo a 1 m. sobre el nivel previsible más alto de la napa freática
- En los alrededores del área de emplazamiento del relleno, el subsuelo natural debe ser poco permeable ( $K \leq 1 \times 10^{-7}$  m/s) -Alternativa A-o, si el valor límite no puede ser alcanzado, y se tiene una permeabilidad media de  $K \leq 1 \times 10^{-5}$  m/s se puede compensar con medidas adicionales de impermeabilización técnica, reemplazo con 3m. de material con  $K = 10^{-7}$ m/s - Alternativa B.
- El subsuelo natural requerido debe tener suficiente área, en lo posible homogéneo y suficientemente profundo, resistente a un gran peso y con poco recubrimiento de las piedras impermeables.
- La inclinación del terreno debido a problemas de inestabilidad debe ser menor a 1:7 (la construcción en terrazas es posible)

## Bibliografía

- Benavides, Livia y María Rincones. 1991. Memoria de la Primera Reunión del Núcleo Técnico en Manejo de Residuos Peligrosos. Lima: CEPIS.
- Bernardes, Cyro. 1986. "Disposição de resíduos perigosos em Aterros", Revista CETESB de Tecnologia 1988; 2(1):55-60.
- Castro, Pedro Pentead de, P; Ariovaldo, J. B; Bernardes, Cyro.; Toshimitsu, J. 1983. Aterro Industrial da Cyanamid Química do Brasil Ltda. (Fab. Resende). Revista DAE 1983 (132):86-90.
- CEPIS. 1993. Guía para la definición y clasificación de residuos peligrosos. CEPIS: Lima.
- CETESB. 1985. Resíduos Sólidos Industriais. Sao Paulo, Convenio CETESB/ASCETESB.
- Conner, J. R. 1986. Fixation and solidification of wastes. Chemical Engineering; 10:79-85.
- Environmental Protection Agency. 1980. Hazardous waste management system, Part III, Identification and listing of hazardous waste. Federal Register; 45(98, 40):33066-33588. CFR Part. 261.
- Environmental Protection Agency. 1987. A compendium of technologies used in the treatment of hazardous wastes. Cincinnati: Center for Environmental Research Information, Office of Research and Development. EPA/625/8-87/014.
- Environmental Protection Agency. 1988. Guide to technical resources for the design of land disposal facilities. Cincinnati: Risk Reduction Engineering Laboratory and Center for Environmental Research Information, Office of Research and Development. EPA/625/6-88/018
- Gemeinsames Ministerialblatt (1990), "Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Änderung der Zweiten allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum AbfG (TA Abfall), Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physicalischen und biologischen Behandlung und Verbrennung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen," Nr. 35, pp. 866-895, 28 Diciembre, 1990, Bonn, Alemania.
- PNUMA. 1989. Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación; acta final. Nairobi: PNUMA.
- Roy, A; Eaton, H; Cartledge, F; Tittlebaum, M. 1992. Solidification/stabilization of hazardous waste: Evidence of physical encapsulation. Environmental Science and Technology; 26(7):1349-1353.
- Sittig, Marshall. 1979. Landfill disposal of hazardous wastes and sludges. New Jersey: Noyes Data Corporation.
- Unger, S.L.; Lubowitz, H.R. 1990. EPP process for stabilization/solidification of contaminants. En: Freeman, Harry M. Physical/chemical processes. Lancaster: Technomic; 1990:77-86.
- Banco Mundial. 1989. The safe disposal of hazardous wastes: The special needs and problems of developing countries. Washington: World Bank.



---

## Anexo 01: Mecánica de suelos

- [Mecánica de suelos y conceptos fundamentales para la instalación de rellenos impermeables y estables](#)
  - [Bibliografía](#)
- 

### **Mecánica de suelos y conceptos fundamentales para la instalación de rellenos impermeables y estables**

Esta sección tiene como propósito proveer los conceptos básicos sobre el uso de arcillas para la impermeabilización del relleno. Para un estudio más profundo sobre este tema, se refiere al lector a otras fuentes (Terzaghi y Peck, 1960; Vargas, 1977; Environmental Protection Agency, 1989).

Existen varios sistemas de clasificación de suelos (Environmental Protection Agency, 1989), de los cuales, los más comunes son los de la American Society of Testing and Materials (ASTM) y el del U.S. Department of Agriculture (USDA). En el [cuadro A.1.1](#) se muestran ambos sistemas de clasificación. Es importante notar que ASTM diferencia a los limos de las arcillas por criterios de plasticidad y no por tamaño del grano.

Se debe buscar en el suelo a ser utilizado como aislamiento, tres características fundamentales (Environmental Protection Agency, 1988):

1. Conductividad hidráulica de  $10^{-9}$  m/s una vez compactado;
2. Suficiente fuerza para soportar sin ceder su propio peso, así como de los materiales superpuestos; y,
3. Ser compatible con los residuos peligrosos o con lixiviados presentes en el relleno.

La conductividad hidráulica (o coeficiente de permeabilidad) es la característica determinante de la impermeabilidad del material, ya que determinará el flujo de líquidos a través de la arcilla. La ley de Darcy describe la velocidad del flujo de un líquido a través de un material poroso. La velocidad del flujo es directamente proporcional a la conductividad hidráulica y a la gradiente hidráulica (figura A.1.1). Por lo tanto, se puede observar que si se reduce la conductividad hidráulica en una orden de magnitud, el volumen de líquido que pase por el suelo en un tiempo determinado también se reducirá en una orden de magnitud.

La ley de Darcy asume que el coeficiente de permeabilidad es independiente de la gradiente hidráulica lo cual ocurre principalmente en materiales arenosos (figura A.1.2). Sin embargo, dentro de los suelos con gran contenido de arcilla, la ley de

Darcy deja de ser del todo aplicable, ya que en este punto la conductividad hidráulica depende de la presión hidráulica. Por debajo de un valor límite de la gradiente hidráulica, la permeabilidad se acerca a cero (figura A.1.3) en la denominada área pre-lineal de la ley de Darcy. La gradiente límite depende del tipo de suelo. Por lo tanto, un drenaje eficaz de base con gradientes hidráulicas muy bajas dentro del relleno puede garantizar, conjuntamente con una impermeabilización mineral de arcilla bien preparada, la seguridad del relleno.

La preparación de la arcilla es de gran importancia para lograr un material impermeable, así como amoldable. Una arcilla no es amoldable plásticamente si está muy seca. Sin embargo, si se le adiciona progresivamente pequeñas cantidades de agua, se va tornando cada vez más dócil a la deformación. A partir de un cierto porcentaje de humedad  $h_1$ , el material se vuelve plástico, permitiendo que se le molde, sin variar su volumen. Si se sigue adicionando agua, el material se vuelve cada vez más blando hasta que, al llegar a un nivel de humedad  $h_2$ , actuará como un líquido viscoso. Estos límites fueron denominados por Atterberg, límite de plasticidad y límite de liquidez, respectivamente (CESTESB, 1985).

Existen varios tipos de arcillas, tales como caolinitas, ilitas y montmorillonitas, entre otras. Estas arcillas varían en características de plasticidad, capacidad de cohesión, resistencia y de intercambio iónico. En el [cuadro A.1.2](#) se muestran algunas propiedades de las arcillas.

La bentonita, una arcilla coloidal del grupo de la montmorillonita, se usa cuando el suelo requiere una reducción en permeabilidad. En un ejemplo (Environmental Protection Agency, 1989), la adición de 4-5% de bentonita de sodio redujo la conductividad hidráulica de  $10^{-6}$  a  $10^{-9}$  m/s. La bentonita de calcio, aunque más permeable, se usa también para mezclar suelos. En este caso, se requiere el doble de bentonita para lograr el mismo cambio en la permeabilidad del suelo. La bentonita de calcio, por otro lado, tiene mejor resistencia a los lixiviados que la bentonita de sodio.

La selección de las arcillas dependerá principalmente de la accesibilidad que se tenga así como de las pruebas que se realicen en el laboratorio y en el campo. Existe una serie de pruebas que permiten determinar las características de los suelos, algunas de las cuales se muestran en el [cuadro A.1.3](#). Entre estas pruebas, las de relación humedad-densidad (pruebas de Proctor) son de gran importancia ya que determinan la humedad en la que la arcilla es más densa y tiene la conductividad hidráulica más baja (ver figura A.1.4). De esta forma se establece el porcentaje ideal de humedad con la que se deberá trabajar en el campo.

La fuerza de un suelo también es un criterio muy importante ya que indicará la capacidad del suelo a resistir peso sin ceder. Al diseñar un revestimiento arcilloso, es necesario llevar a cabo pruebas de conductividad hidráulica en el campo, ya que ésta variará en comparación a la determinada en el laboratorio. En el campo, se obtendrá una conductividad hidráulica más baja si se compacta el suelo con una

humedad de 2-4% por encima de la óptima (Environmental Protection Agency, 1988).

---

### Bibliografía

- Brown, K.W.; Anderson D. 1980. Effect of organic chemicals on clay liner permeability En:  
Disposal of hazardous waste; Proceedings of the Sixth Annual Research Symposium.  
Cincinnati: United States Environmental Protection Agency, Municipal Environmental Research Laboratory. EPA-600/9-80-010
- Environmental Protection Agency. 1989. Requirements for hazardous waste landfill design, construction, and closure, a Seminar publication. Cincinnati: Center for Environmental Research Information, Office of Research and Development. [EPA/625/4-89/022](#)
- Spigolon, S.J.; M.F. Kelley. 1984. Geotechnical quality assurance of construction of disposal facilities. Waste Management and Research; 2(14):311-324.
- Terzaghi, Karl y Ralph B. Peck. 1960. Soil mechanics in engineering practice. New York: John Wiley and Sons.
- Vargas, M. 1977. Introdução a mecanica dos solos. Sao Paulo: EDUSP

---

### Clasificación de suelos

	ASTM	USDA
Grava	4.74 (Tamiz No. 4)	2
Arena	0.075 (Tamiz No. 200)	0.050
Limo	Ninguno (Criterio de plasticidad)	0.002
Arcilla	.	.

---

**Valores típicos de algunas propiedades de la caolinita, la illita y la montmorillonita**

<b>Arcilla</b>	<b>Contraída (nm)</b>	<b>Hidratada (nm)</b>	<b>Volumen</b>	<b>Carga por peso de unidad molecular</b>	<b>Area superficial (m<sup>2</sup>/g)</b>	<b>Catión</b>	<b>Anión</b>
Caolinita no expansiva	200	202	1%	0	8	10	depende del pH
Illita no expansiva	20	22	10%	1.0	80	15	depende del pH
Montmorillonita no expansiva	2	6	200%	0.5	800	100	depende del pH < 5

\* Cuatro capas de agua adsorbidas sobre cada supercie basal.

• Fuente: Brown y Anderson (1980)

### Métodos de pruebas para la caracterización de suelos

Parámetro a ser analizado	Método de prueba	Referencia para el método
Contenido de humedad	Desecado en horno Humedad/densidad nuclear Carburo de calcio (Veloz)	ASTM D2216 ASTM D3017 ASTM D217
Tipos de suelos	Procedimiento visual/manual Análisis de tamaños de partículas Límites de Atterberg Clasificación de suelos	ASTM D2488 ASTM D422 ASTM D4318 ASTM D2487
Densidad in-situ	Métodos nucleares Cono de arena Globo de gebo Cilindro a presión (drive cylinder)	ASTM D2922 ASTM D1556 ASTM D2167 ASTM D2937
Relación humedad-densidad	Proctor standard Proctor modificado	ASTM D698 ASTM D1557
Fuerza (strength)	Fuerza de compresión no confinada Compresión triaxial	ASTM D2166 ASTM D2850
Cohesión del suelo (campo)	Pruebas de penetración 'Field vane shear test' Penetrómetro manual	ASTM D3441 ASTM D2573 Horslev, 1943
Conductividad hidráulica (Laboratorio)	Medidor de permeabilidad de doble anillo con paredes fijas Medidor de permeabilidad de paredes flexibles	<a href="#">EPA</a> , 1983 SW-870 Anderson et.al. 1984 Daniel et.al. 1985, SW-846 M&eacute;todo 9100 ( <a href="#">EPA</a> , 1984)
Conductividad hidráulica (campo)	Infiltrómetro sellado de doble anillo Infiltrómetro de doble anillo Sai-Anderson-Gill	Day and Daniel, 1985 Anderson et.al. 1984

Fuente: Spigolon and Kelley (1984) y [Environmental Protection Agency](#)(1988)

---

## Anexo 02: Clasificación de residuos peligrosos

El Convenio de Basilea controla el movimiento transfronterizo de los residuos peligrosos listados en los anexos, que a continuación se reproducen.

- [Categoría de desechos que hay que controlar](#)
  - [Categoría de desechos que requieren una consideración especial](#)
  - [Lista de características peligrosas](#)
  - [Operaciones de eliminación](#)
- 

### Categorías de desechos que hay que controlar

#### Desechos:

Y1	Desechos clínicos resultantes de la atención médica prestada en hospitales, centros médicos y clínicas
Y2	Desechos resultantes de la producción y preparación de productos farmacéuticos
Y3	Desechos de medicamentos y productos farmacéuticos
Y4	Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de biocidas y productos fitofarmacéuticos
Y5	Desechos resultantes de la fabricación, preparación y utilización de productos químicos para la preservación de la madera
Y6	Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de disolventes orgánicos
Y7	Desechos que contengan cianuros, resultantes del tratamiento térmico y las operaciones de temple
Y8	Desechos de aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados
Y9	Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de 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 otro tratamiento pirolítico
Y12	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices
Y13	Desechos resultantes de la producción y utilización de resinas, látex, plastificantes, 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	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de productos químicos y materiales para fines fotográficos
Y17	Desechos resultantes del tratamiento de superficie de metales y plásticos
Y18	Residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales

**Desechos que tengan como constituyentes:**

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	Eteres
Y41	Solventes orgánicos halogenados
Y42	Disolventes orgánicos, con exclusión de disolventes 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 anexo (por ejemplo, Y39, Y41, Y42, Y43, Y44).

### Categorías de desechos que requieren una consideración especial

Y46	Desechos recogidos de los hogares
Y47	Residuos resultantes de la incineración de desechos de los hogares

### Lista de características peligrosas

Clase de las Naciones Unidas	Código	Características
1	H1	Explosivos Por sustancia explosiva o desecho se entiende toda sustancia o desecho sólido o líquido (o mezcla de sustancias o desechos) que por sí misma es capaz, mediante reacción química, de emitir un gas a una temperatura, presión y velocidad tales que puedan ocasionar daño a la zona circundante.
3	H3	Líquidos inflamables Por líquidos inflamables se entiende aquellos líquidos, o mezclas de líquidos, o líquidos con sólidos en solución o suspensión (por ejemplo, pinturas, barnices, lacas, etc. pero sin incluir sustancias o desechos clasificados de otra manera debido a sus características peligrosas) que emiten vapores inflamables a temperaturas no mayores de 60.5oC, en ensayos con cubeta abierta. (Como los resultados de los ensayos con cubeta abierta y con cubeta cerrada no son estrictamente comparables, e incluso los resultados obtenidos mediante un mismo ensayo a menudo difieren entre sí, la reglamentación que se apartara de las cifras antes mencionadas para tener en cuenta tales diferencias sería compatible con el espíritu de esta definición.)



4.1	H4.1	Sólidos inflamables Se trata de los sólidos, o desechos sólidos, distintos a los clasificados como explosivos, que en las condiciones prevaecientes durante el transporte son fácilmente combustibles o pueden causar un incendio o contribuir al mismo, debido a la fricción.
4.2	H4.2	Sustancias o desechos susceptibles de combustión espontánea Se trata de sustancias o desechos susceptibles de calentamiento espontáneo en las condiciones normales del transporte, o de calentamiento en contacto con el aire, y que pueden entonces encenderse.
4.3	H4.3	Sustancias o desechos que, en contacto con el agua, emiten gases inflamables Sustancias o desechos que, por reacción con el agua, son susceptibles de inflamación espontánea o de emisión de gases inflamables en cantidades peligrosas.
5.1	H5.1	Oxidantes Sustancias o desechos que, sin ser necesariamente combustibles, pueden, en general, al ceder oxígeno, causar o favorecer la combustión de otros materiales.
5.2	H5.2	Peróxidos orgánicos Las sustancias o los desechos orgánicos que contienen la estructura bivalente -O-O- son sustancias inestables térmicamente que pueden sufrir una descomposición autoacelerada exotérmica.
6.1	H6.1	Tóxicos (venenos) agudos Sustancias o desechos que pueden causar la muerte o lesiones graves o daños a la salud humana, si se ingieren o inhalan o entran en contacto con la piel.
6.2	H6.2	Sustancias infecciosas Sustancias o desechos que contiene microorganismos viables o sus toxinas, agentes conocidos o supuestos de enfermedades en los animales o en el hombre.
8	H8	Corrosivos Sustancias o desechos que, por acción química, causan daños graves en los tejidos vivos que tocan, o que en caso de fuga, pueden dañar gravemente, o hasta destruir, otras mercaderías o los medios de transporte; o pueden también provocar otros peligros.
9	H10	Liberación de gases tóxicos en contacto con el aire o el agua Sustancias o desechos que, por reacción con el aire o el agua, pueden emitir gases tóxicos en cantidades peligrosas.

9	H11	Sustancias tóxicas (con efectos retardados o crónicos) Sustancias o desechos que, de ser aspirados o ingeridos, o de penetrar en la piel, pueden entrañar efectos retardados o crónicos, incluso la carcinogenia.
9	H12	Ecotóxicos Sustancias o desechos que, si se liberan, tienen o pueden tener efectos adversos inmediatos o retardados en el medio ambiente, debido a la bioacumulación o los efectos tóxicos en los sistemas bióticos.
9	H13	Sustancias que pueden, por algún medio, después de su eliminación, dar origen a otra sustancia, por ejemplo, un producto de lixiviación, que posee alguna de las características arriba expuestas.

### Pruebas

Los peligros que pueden entrañar ciertos tipos de desechos no se conocen plenamente todavía; no existen pruebas para hacer una apreciación cuantitativa de esos peligros. Es preciso realizar investigaciones más profundas a fin de elaborar medios de caracterizar los peligros potenciales que tienen estos desechos para el ser humano o el medio ambiente. Se han elaborado pruebas normalizadas con respecto a sustancias y materiales puros. Muchos Estados han elaborado pruebas nacionales que pueden aplicarse a los materiales enumerados en el anexo I, a fin de decidir si estos materiales muestran algunas de las características descritas en el presente anexo.

### Operaciones de eliminación

#### Operaciones que NO Pueden Conducir a la Recuperación de Recursos, el Reciclado, la Regeneración, la Reutilización Directa u Otros Usos

Esta sección abarca todas las operaciones de eliminación que se realizan en la práctica.

D1	Depósito dentro o sobre la tierra (por ejemplo, rellenos, etc.)
D2	Tratamiento de la tierra (por ejemplo, biodegradación de desperdicios líquidos o fangosos en suelos, etc.)
D3	Inyección profunda (por ejemplo, inyección de desperdicios bombeables en pozos, domos de sal, fallas geológicas naturales, etc.)
D4	Embalse superficial (por ejemplo, vertido de desperdicios líquidos o fangosos en pozos, estanques, lagunas, etc.)

D5	Rellenos especialmente diseñados (por ejemplo, vertido en compartimientos estancos separados, recubiertos y aislados unos de otros y del ambiente, etc.)
D6	Vertidos en una extensión de agua, con excepción de mares y océanos
D7	Vertido en mares y océanos, inclusive la inserción en el lecho marino
D8	Tratamiento biológico no especificado en otra parte de este anexo que dé lugar o compuestos o mezclas finales que se eliminen mediante cualquiera de las operaciones indicadas en la sección A
D9	Tratamiento fisicoquímico no especificado en otra parte de este anexo que dé lugar a compuestos o mezclas finales que se eliminen mediante cualquiera de las operaciones indicadas en la sección A (por ejemplo, evaporación, secado calcinación, neutralización, precipitación, etc.)
D10	Incineración en la tierra
D11	Incineración en el mar
D12	Depósito permanente (por ejemplo, colocación de contenedores en una mina, etc.)
D13	Combinación o mezcla con anterioridad a cualquiera de las operaciones indicadas en la sección A
D14	Reempaque con anterioridad a cualquiera de las operaciones indicadas en la sección A
D15	Almacenamiento previo a cualquiera de las operaciones indicadas en la sección A

### **Operaciones que Pueden Conducir a la Recuperación de Recursos, el Reciclado, la Regeneración, la Reutilización Directa y Otros Usos**

Esta sección comprende todas las operaciones con respecto a materiales que son considerados o definidos jurídicamente como desechos peligrosos y que de otro modo habrían sido destinados a una de las operaciones indicadas en la sección A.

R1	Utilización como combustible (que no sea en la incineración directa) u otros medios de generar energía
R2	Recuperación o regeneración de disolventes
R3	Reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se utilizan como disolventes
R4	Reciclado o recuperación de metales y compuestos metálicos
R5	Reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas

R6	Regeneración de ácidos o bases
R7	Recuperación de componentes utilizados para reducir la contaminación
R8	Recuperación de componentes provenientes de catalizadores
R9	Regeneración u otra reutilización de aceites usados
R10	Tratamiento de suelos en beneficio de la agricultura o el mejoramiento ecológico
R11	Utilización de materiales residuales resultantes de cualquiera de las operaciones numeradas de R1 a R10
R12	Intercambio de desechos para someterlos a cualquiera de las operaciones numeradas de R1 a R11
R13	Acumulación de materiales destinados a cualquiera de las operaciones indicadas en la sección B

---

### Anexo 03: Sistema de clasificación de desechos de la comunidad europea (Propuesta 1992)

- [Desechos riesgosos y muy nocivos para la salud y el ambiente](#)
- [Desechos de contenido nocivo, combustibles](#)
- [Materiales minerales de contenido nocivo](#)
- Desechos lixiviados de contenido nocivo
- Desechos sólidos sin contaminación soluble de contenido nocivo
- [Desechos sólidos de alto contenido biodegradable](#)
- [Desechos sólidos, destructible mediante incineración](#)
- Desechos sin clasificación (hasta hoy)

---

#### Desechos riesgosos y muy nocivos para la salud y el ambiente

1. Explosivos
  2. Gases
  3. Halógenos
  4. Líquidos (halógenos > 1%)
  5. Peróxidos orgánicos
  6. Sustitución de los muy venenosos y venenosos, sin líquidos inflamables
  7. Patógenos, de olor penetrante
-

### **Desechos de contenido nocivo, combustibles**

1. Desechos (contenido halógeno < 1%)
    1. Líquidos bombeables, contenido nocivo, combustible
    2. Material a granel, contenido nocivo, combustible
    3. Otros materiales, contenido nocivo, combustible
- 

### **Materiales minerales de contenido nocivo**

1. Desechos minerales, con alto contenido de solubles
    1. Desechos minerales, contenido soluble con riesgo
    2. Desechos minerales, contenido sin riesgo acuático
  2. Material con contenido nocivo, menor solubilidad
    1. Residuos de tratamiento de líquidos de contenido venenoso o muy venenoso
    2. Otros residuos de lodo de contenido nocivo
    3. Desechos polvorosos de contenido nocivo
    4. Otros desechos minerales de contenido nocivo
- 

### **Desechos sólidos de alto contenido biodegradable**

1. Desechos de un menor potencial de reciclaje (después del tratamiento biodegradable)
  2. Desechos de un mayor potencial de reciclaje (después del tratamiento biodegradable)
- 

### **Desechos sólidos, destructible mediante incineración**

1. Desechos combustibles con material de fibras
2. Desechos combustibles con fibras sintéticas
3. Desechos combustibles con fibras biológicas

- [Cuadro 2.1. Sustancias tóxicas que confieren peligrosidad a un residuo](#)
- [Cuadro 2.2. Residuos peligrosos que pueden ser dispuestos en rellenos de seguridad](#)
- [Cuadro 2.3. Industrias generadoras de residuos peligrosos](#)
- [Cuadro 2.4. Ejemplos de residuos que no pueden ser dispuestos en un relleno de seguridad](#)
- [Cuadro 2.5. Requerimientos fisicoquímicos mínimos para la disposición de residuos peligrosos en rellenos de seguridad](#)
- [Cuadro 2.6. Compatibilidad de los residuos](#)
- [Cuadro 3.1. Tratamiento de residuos](#)
- [Cuadro 4.1. Funciones de seguridad de la barrera geológica](#)
- [Cuadro 5.1. El proceso de búsqueda de sitios para los rellenos de seguridad en la región](#)
- [Cuadro 5.2. Reconocimiento del lugar de emplazamiento territorial y ambiental de un relleno de residuos peligrosos](#)

### **Lista de figuras**

- [Figura 4.1. Representación esquemática del sistema de gestión de residuos peligrosos](#)
- [Figura 4.2. Componentes esenciales del concepto de barreras múltiples para los sitios de desechos](#)
- [Figura 4.3. Requerimientos mínimos de la barrera técnica y geológica y para el relleno de seguridad](#)
- [Figura 4.4. Sección esquemática de un relleno de seguridad \(fosa o trinchera\)](#)
- [Figura 4.5. Modelo de un instalación de un relleno de seguridad \(talud\)](#)
- [Figura 4.6. Alternativas de drenaje de fondo](#)
- [Figura 4.7. Sistema de triple seguridad para la recolección de los lixiviados](#)
- [Figura 4.8. Aptitud de los diferentes tipos de suelos para la instalación de rellenos de seguridad](#)
- [Figura 4.9. Estabilización del relleno](#)