

129

1 Feb



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DISPOSICION DE RESIDUOS PELIGROSOS EN CONFINAMIENTOS CONTROLADOS



TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION

EXAMEN DE PROFESIONALES DE QUIMICA
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA QUIMICA
P R E S E N T A:
SILVIA KARINA VAZQUEZ PEDRAZA

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1994





UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

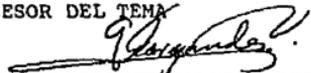
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE	PROF. YOLANDA CASTELLS GARCIA
VOCAL	PROF. GEORGINA FERNANDEZ VILLAGOMEZ
SECRETARIO	PROF. LETICIA MARIA DE LOS ANGELES GONZALEZ ARREDONDO
1er. SUPLENTE	PROF. RODOLFO TORRES BARRERA
2do. SUPLENTE	PROF. URIEL USCANGA GRANADINO

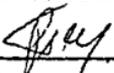
El trabajo se desarrolló en el Centro Nacional de Prevención de Desastres.

ASESOR DEL TEMA



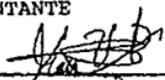
DRA. GEORGINA FERNANDEZ VILLAGOMEZ

SUPERVISOR TECNICO



ING. MARIA DEL PILAR TELLO ESPINOZA

SUSTENTANTE



SILVIA KARINA VAZQUEZ PEDRAZA

INDICE

CAPITULO I PRESENTACION	1
1.1 INTRODUCCION	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS	3
CAPITULO II CLASIFICACIONES DE RESIDUOS PELIGROSOS	6
2.1 CLASIFICACION DE RESIDUOS PELIGROSOS EN MEXICO	6
2.1.1 Fuente generadora	6
2.1.2 Características	6
2.2 CLASIFICACION DE RESIDUOS PELIGROSOS DE ACUERDO CON EL ESTUDIO REALIZADO POR EL BANCO MUNDIAL, ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD Y EL PROGRAMA DE LA ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS	9
CAPITULO III DISPOSICION FINAL	12
3.1 METODOS DE DISPOSICION FINAL EN TIERRA	12
3.1.1 Crítica a los métodos propuestos	15
3.2 CONFINAMIENTOS CONTROLADOS	15
3.2.1 Descripción de confinamientos controlados	16
3.2.2 Residuos peligrosos aceptados en celdas de confinamiento	18
3.3 REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE EN MATERIA DE RESIDUOS PELIGROSOS, CON RESPECTO A LA DISPOSICION FINAL	18
3.4 ASPECTOS ECONOMICOS	20
3.4.1 Costos de Capital	20
3.4.2 Costos de Operación	21
CAPITULO IV PARAMETROS PARA SELECCIONAR EL SITIO	23
4.1 VIDA UTIL DE LA INSTALACION	23
4.2 ACCESO	24
4.3 CRECIMIENTO DE CENTROS DE POBLACION	24
4.4 OPINION PUBLICA	24
4.5 COSTOS	25
4.6 CLIMATOLOGICOS	25
4.7 TOPOGRAFICOS	25
4.8 SISMICOS	26
4.9 ECOLOGICOS	26
4.10 HIDROLOGIA SUPERFICIAL	27
4.11 GEOHIDROGEOLOGICOS	27
4.11.1 Propiedades de los suelos	27
4.11.2 Características geológicas apropiadas para confinamientos controlados	29

CAPITULO V DISEÑO Y CONSTRUCCION DE OBRAS COMPLEMENTARIAS . . .	30
5.1 CERCA PERIMETRAL Y AREA DE AMORTIGUAMIENTO	30
5.2 CASETA DE VIGILANCIA	30
5.3 AREAS DE ACCESO	30
5.4 CASETA DE BASCULA	31
5.5 AREA ADMINISTRATIVA	31
5.6 TALLER DE MANTENIMIENTO	31
5.7 SERVICIOS SANITARIOS	32
5.8 LABORATORIO	32
5.9 CAMINOS	33
5.10 AREA DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL	34
5.11 AREA DE EMERGENCIA	34
5.12 AREA DE LAVADO DE VEHICULOS	35
5.13 DRENAJE PLUVIAL	35
5.14 INSTALACIONES DE ENERGIA ELECTRICA.	36
5.15 SEÑALAMIENTOS	37
CAPITULO VI DISEÑO Y CONSTRUCCION DE CELDAS	39
6.1 FORMAS DE LOS CONFINAMIENTOS	39
6.2 CELDAS DE CONFINAMIENTO	40
6.2.1 Diseño y construcción de celdas de acuerdo a las normas oficiales mexicanas	40
6.3 TIPOS DE IMPERMEABILIZACION	41
6.4 IMPERMEABILIZACION CON SUELOS NATURALES	41
6.5 IMPERMEABILIZACION CON MEMBRANAS SINTETICAS	42
6.5.1 Selección de membranas sintéticas	42
6.5.2 Tipos de revestimientos sintéticos	44
6.5.3 Ventajas y desventajas de las membranas sintéticas	44
6.5.4 Descripción de los revestimientos	45
6.6 INSTALACION DE LA MEMBRANA	45
6.6.1 Superficie de soporte	45
6.6.2 Arreglo	47
6.6.3 Colocación de las membranas	47
6.6.4 Uniones	47
6.6.5 Anclajes	47
6.6.6 Cubierta de protección	48
6.7 SISTEMAS DE CONTROL Y MONITOREO	48
6.7.1 Sistemas de captación de lixiviados	48
6.7.2 Diseño y construcción de sistemas de captación de lixiviados de acuerdo a las normas oficiales mexicanas	49
6.7.3 Sistemas de control y monitoreo de gases	52
6.7.4 Diseño y construcción del sistema de venteo de acuerdo a las normas oficiales mexicanas	53
6.8 AGUA SUBTERRANEA	54
6.8.1 Contaminación de las aguas subterráneas	55
6.8.2 Sistema de control y monitoreo de agua subterránea	56

CAPITULO VII OPERACION	58
7.1 RECEPCION DE RESIDUOS PELIGROSOS EN CONFINAMIENTOS CONTROLADOS	58
7.1.1 Registros	58
7.1.2 Pesaje	59
7.1.3 Análisis	60
7.1.4 Tratamiento	61
7.2 UBICACION DE LOS RESIDUOS EN LAS CELDAS DE CONFINAMIENTO	61
7.3 OPERACION EN EL FRENTE DE TRABAJO	62
7.4 CUBIERTA FINAL	65
7.5 POSTERMINACION	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS	70
LISTA DE FIGURAS Y TABLAS.	71
GLOSARIO DE TERMINOS	72
BIBLIOGRAFIA	75
APENDICE 1	77
APENDICE 2	78

CAPITULO I

PRESENTACION

1.1 INTRODUCCION

Las principales fuentes de residuos peligrosos son las industrias manufactureras que los generan en sus diferentes etapas. En México el problema de los residuos peligrosos es grave, debido a que muchas industrias todavía operan con procesos obsoletos, a la falta de tecnología limpia para reducir su peligrosidad y a la deficiencia de control sobre los residuos peligrosos que se generan. El manejo de residuos peligrosos se rige por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, publicada el 28 de enero de 1988 y por el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos, publicado el 25 de noviembre de 1988. Además existen cuatro normas oficiales mexicanas referidas a la disposición final de residuos peligrosos en confinamientos controlados, las cuales se publicaron el 22 de octubre de 1993.

Los residuos peligrosos pueden someterse a técnicas de destrucción, tratamiento y estabilización pero siempre habrá remanentes de residuos peligrosos que tienen que ponerse en algún lugar, y es sobre su disposición final que trata este documento. En este trabajo se entiende como disposición final la colocación de estos remanentes en confinamientos controlados.

Hasta el momento el país cuenta con un sólo lugar para la disposición adecuada de residuos peligrosos, por lo que puede apreciarse la necesidad de construir confinamientos controlados a lo largo y ancho del territorio nacional, con el fin de evitar la contaminación del ambiente y evitar riesgos a la salud humana, que son el resultado de depositar los residuos peligrosos de manera clandestina en tiraderos abiertos y sin control o en rellenos sanitarios junto con residuos municipales.

Los confinamientos que se encuentran cerrados son:

Aldrett, S.A
Parque Industrial de Hermosillo
Finsa Matamoros

El único confinamiento que esta operando es Residuos Industriales Multiquim, S.A de C.V (RIMSA) en el municipio de Mina, Nuevo León.

El presente trabajo consta de ocho capítulos. El primer capítulo, "Presentación", muestra un panorama general del problema de los residuos peligrosos y de su disposición final en México, el objetivo del documento, el manejo de residuos peligrosos y las definiciones y terminología.

El segundo capítulo, "Clasificaciones de Residuos Peligrosos", menciona dos clasificaciones de residuos peligrosos. La primera es la clasificación de acuerdo a las normas oficiales mexicanas y la segunda es la clasificación de acuerdo a un estudio realizado por el Banco Mundial, Organización Mundial de la Salud y Programa de las Naciones Unidas.

El tercer capítulo, "Disposición final". Describe brevemente algunos métodos de disposición final y de manera más detallada el método de confinamiento controlado, así como las características que deben presentar los residuos peligrosos a depositar en las celdas de estos últimos. Finalmente presenta los aspectos económicos.

El cuarto capítulo, "Parámetros Para Seleccionar el Sitio", señala los parámetros a considerar en la selección de un sitio para construir un confinamiento controlado.

El quinto capítulo "Diseño y Construcción de Obras Complementarias" trata sobre el diseño y construcción de obras complementarias de confinamientos controlados, como son los caminos, señalamientos, etc.

El sexto capítulo "Diseño y Construcción de Celdas" trata sobre el diseño y construcción de los elementos que constituyen una celda de confinamiento, como es la impermeabilización y los sistemas de control.

El séptimo capítulo "Operación" trata sobre las acciones que se realizan en los confinamientos controlados.

El octavo capítulo incluye las conclusiones y recomendaciones.

1.2 OBJETIVOS

a. Objetivo General

Este documento se elaboró con el objetivo de recopilar información actualizada en lo referente al diseño, construcción y operación de confinamientos controlados

b. Objetivos específicos

-Revisión de las normas oficiales mexicanas en cuanto al diseño, construcción y operación de confinamientos controlados.

-Revisión de documentos extranjeros en cuanto al diseño, construcción y operación de confinamientos controlados.

De esa manera se complementan algunos aspectos técnicos de las normas oficiales mexicanas con información de documentos extranjeros. Como limitante se tiene el aspecto de ingeniería civil, en lo referente a las características geológicas, parte fundamental del tema, el cual no es extensivo en este trabajo. Tampoco se trata a fondo el aspecto económico.

1.3 MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS

El manejo de residuos peligrosos es un sistema organizado en cuanto a las operaciones que lo constituyen, entre las que se encuentran el almacenamiento, transporte y disposición final, con el fin de evitar daños a la salud y al ambiente. Ver figura 1.1.

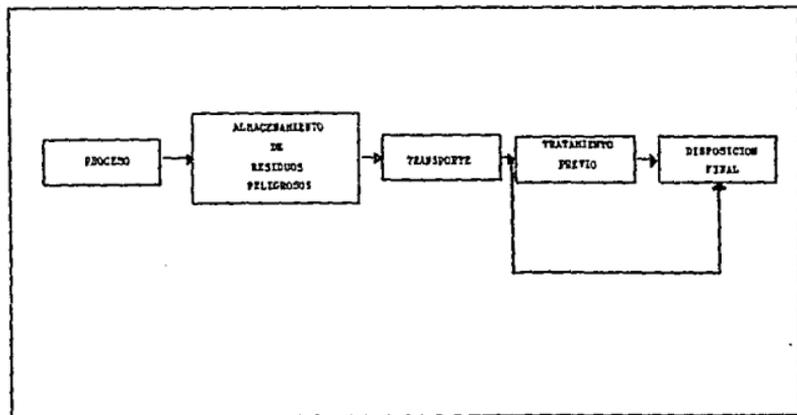


Figura 1.1 Manejo de residuos peligrosos.

La mayor parte de los residuos industriales y principalmente aquellos caracterizados como peligrosos se tratan o disponen en locales distantes del punto de generación. Estos locales pueden estar situados en la propia área industrial o a varios kilómetros, como normalmente ocurre. La operación de llevar un residuo del punto de generación hasta su destino final, involucra generalmente colecta, transporte y almacenamiento dentro de la propia industria, y colecta y transporte hasta el local de tratamiento o disposición. (CETESB, 1985)

El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos, señala en su capítulo II, "De la Generación de Residuos Peligrosos", artículo 8, los aspectos que se deben tener en cuenta en relación a la generación de residuos peligrosos.

a. Almacenamiento

Toda empresa debe poseer un sistema de almacenamiento de sus residuos. Los residuos generados deben almacenarse de forma segura hasta que puedan ser transferidos a una instalación de tratamiento o disposición final. (CETESB, 1985)

Los principios del almacenamiento son:

- a. Contención
- b. Protección contra el clima
- c. Localización del área de almacenamiento
- d. Segregación
- e. Arreglo del área de almacenamiento
- f. Incompatibilidad en el almacenamiento. (Lindgren, 1990)

El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos, señala en su capítulo III, "Del Manejo de Residuos Peligrosos", artículos 14 a 21, los aspectos a considerar con respecto al almacenamiento de residuos peligrosos.

b. Transporte

Los residuos sólidos se necesitan transportar mecánicamente desde el punto de generación hasta el local de disposición. Existen básicamente tres modalidades de transporte asociados a los residuos, los cuales son: marítimo o fluvial, ferroviario y autotransporte.

El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos, señala en su capítulo III, "Del Manejo de Residuos Peligrosos", artículos 23 a 29, los aspectos que se deben tener en cuenta en relación al transporte de residuos peligrosos.

Los vehículos destinados al transporte de residuos peligrosos deberán contar con registro de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y reunir los requisitos que determine dicha dependencia.

CAPITULO II

CLASIFICACIONES DE RESIDUOS PELIGROSOS

La clasificación de los residuos peligrosos no es una tarea fácil. Muchos de los materiales peligrosos, sin embargo, se identifican, etiquetan y clasifican de acuerdo a su facilidad de manejo para minimizar los daños al ambiente y la salud.

A continuación se presentan dos tipos de clasificaciones para residuos peligrosos de diferentes organizaciones: la Norma Oficial Mexicana para la determinación y listado de residuos peligrosos en México y el estudio realizado por el Banco Mundial, Organización Mundial de la Salud y Programa de Naciones Unidas para el mejoramiento del ambiente.

2.1 CLASIFICACION DE RESIDUOS PELIGROSOS EN MEXICO

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-001-ECOL/93, el procedimiento a seguir por el generador de residuos para determinar si son peligrosos o no, se muestra en la figura 2.1.

Para la clasificación de los residuos peligrosos se atenderá por fuente generadora y características.

2.1.1 Fuente generadora

Se encuentran referenciados en cuatro tablas. La primera tabla clasifica a los residuos peligrosos por giro industrial y por proceso, la segunda tabla clasifica a los residuos peligrosos por fuente no específica, la tercera tabla se refiere a los residuos de materias primas que se consideran peligrosos en la producción de pinturas, y la cuarta tabla se refiere a la clasificación de residuos y bolsas o envases de materias primas que se consideran peligrosas en la producción de pinturas.

2.1.2 Características

Los residuos peligrosos por sus características, son aquellos que presentan una o más de las siguientes propiedades: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad al ambiente, inflamabilidad, y/o biológico infecciosas; atendiendo a los siguientes criterios:

a. Corrosividad

Un residuo se considera peligroso por su corrosividad cuando:

-En estado líquido o solución acuosa presenta un pH menor o igual a 2, o mayor o igual a 12.5.

-En estado líquido o solución acuosa es capaz de corroer el acero al carbón (SAE 1020), a una velocidad de 6.35mm por año a una temperatura de 55°C. (NOM-CRP-001-ECOL/93)

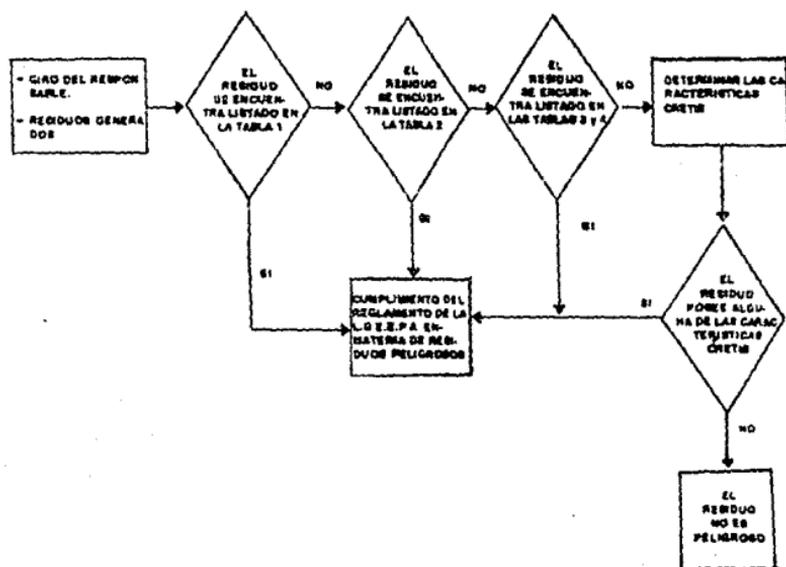


Figura 2.1 Diagrama de flujo para la identificación de residuos peligrosos. Fuente: NOM-CRP-001-ECOL/93

b.Reactividad

Un residuo se considera peligroso por su reactividad cuando:

-Bajo condiciones normales (25°C y 1 atmósfera), se combina o polimeriza violentamente sin detonación.

-Cuando en condiciones normales (25°C y 1 atmósfera) se pone en contacto con agua en relación (residuo-agua) de 5:1, 5:3, 5:5 reacciona formando gases, vapores o humos.

-Cuando en condiciones normales se pone en contacto con soluciones de pH; ácido (HCl 1.0 N) y básico (NaOH 1.0 N), en relación (residuo-solución) de 5:1, 5:3, y 5:5 y reacciona violentamente formando gases, vapores o humos.

-Posee en su constitución cianuros o sulfuros y cuando se expone a condiciones de pH entre 2.0 y 12.5 puede generar gases, vapores o humos tóxicos en cantidades mayores a 250mg de HCN/kg de residuo o 500mg de H₂S/kg de residuo.

-Es capaz de producir radicales libres. (NOM-CRP-001-ECOL/93)

c.Explosividad

Un residuo se considera peligroso por su explosividad cuando:

-Tiene una constante de explosividad igual o mayor que la del dinitrobenceno.

-Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y 1.03 kg/cm² de presión. (NOM-CRP-001-ECOL/93)

d.Toxicidad al ambiente

Un residuo se considera peligroso por su toxicidad al ambiente, cuando se somete a la prueba de extracción para toxicidad conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-002-ECOL/93 y el lixiviado de la muestra representativa que contenga cualquiera de los constituyentes listados en el anexo 5 de la Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-001-ECOL/93, se encuentre en concentraciones mayores a los límites señalados allí. (NOM-CRP-001-ECOL/93)

e. Inflammabilidad

Un residuo se considera peligroso por su inflamabilidad cuando:

- En solución acuosa contiene mas de 24% de alcohol en volumen.
- Es líquido y tiene un punto de inflamación inferior a 60°C.
- No es líquido pero es capaz de causar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos (a 25°C y 1.03 kg/cm²).
- Se trata de gases comprimidos, inflamables o agentes oxidantes que estimulan la combustión. (NOM-CRP-001-ECOL/93)

f. Biológico/Infecciosos

Un residuo se considera peligroso por sus características biológico/infecciosas cuando:

- El residuo contiene bacterias, virus u otros microorganismos con capacidad de infección.
- Cuando contiene toxinas producidas por microorganismos que causen efectos nocivos a seres vivos. (NOM-CRP-001-ECOL/93)

La mezcla de un residuo peligroso con un residuo no peligroso será considerado residuo peligroso. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

2.2 CLASIFICACION DE RESIDUOS PELIGROSOS DE ACUERDO CON EL ESTUDIO REALIZADO POR EL BANCO MUNDIAL, ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD Y EL PROGRAMA DE LA ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS

La clasificación de residuos peligrosos presentados en el Apéndice 1, en la que se mencionan los tipos de residuos peligrosos y los giros industriales en los cuales se pueden encontrar; es un diagrama propuesto en un estudio realizado por el Banco Mundial, Organización Mundial de la Salud y el Programa de la Organización de las Naciones Unidas para el mejoramiento del ambiente, y une los tipos de residuos con las diferentes categorías industriales. Los grupos industriales se mencionan en el Apéndice 2. A continuación se menciona cada tipo de residuo.

-Residuos inorgánicos: El principal peligro de los ácidos y álcalis está en su acción corrosiva, complicada, en algunos casos por la presencia de constituyentes tóxicos.

Los residuos de cianuro se generan principalmente en la industria del acabado de metales y en el tratamiento a altas temperaturas de ciertos aceros. El peligro asociado con los residuos de cianuro consiste en su toxicidad aguda.

Los materiales que contienen asbesto pueden ser residuos provenientes de la demolición o reconstrucción de locomotoras y vagones ferroviarios. Los riesgos a la salud asociados con la inhalación de fibras de asbesto y corrientes de polvo provienen del potencial carcinogénico del material. Tuberías y láminas de asbesto presentan generalmente menor problema que la pérdida de fibras y polvo.

Los polvos y lodos generados de procesos como la fundición de metales, contienen en su mayoría metales tóxicos incluyendo níquel, arsénico, zinc, mercurio, cadmio y plomo.

-Residuos aceitosos: se generan principalmente del proceso, uso y almacenamiento de aceites minerales. Por ejemplo son residuos de lubricación y residuos de tanques de almacenamiento de aceites.

-Residuos orgánicos: Los disolventes halogenados se generan principalmente de operaciones de limpieza en seco, limpieza de metales en la industria ingenieril y en una cantidad mucho menor, de los procesos de desengrasado y en la industria textil y de curtiduría. El peligro de estos residuos está asociado con su toxicidad y alta persistencia relativa en el ambiente.

Los residuos de disolventes no halogenados comprenden un gran número de hidrocarburos e hidrocarburos oxigenados de los cuales, algunos de los más utilizados son el tolueno, metanol, isopropanol, y etanol. La toxicidad de estos materiales varía grandemente y en muchos casos el peligro principal es la inflamabilidad. Los residuos de bifenilos policlorados (PCB's) se generan de su manufactura y del equipo en que fueron utilizados, principalmente como fluidos dieléctricos en transformadores y capacitores. El peligro principal de los PCB's está asociado con su potencial de bioacumulación.

Los residuos de pinturas se generan de su aplicación a productos terminados. Generalmente son combinaciones de disolventes y materiales poliméricos incluyendo en algunos casos metales tóxicos.

Los residuos de biocidas se generan en la manufactura, formulación y empleo de estos compuestos en la agricultura, horticultura, y en otras industrias.

Los residuos químicos orgánicos, también se generan de la carbonización de hulla, y como subproductos de la manufactura de productos químicos. Estas corrientes residuales abarcan compuestos químicos halogenados y no halogenados y se generan por un extenso número de industrias incluyendo refinación de petróleo y la manufactura de compuestos químicos, materias colorantes farmacéuticas, plásticos, hules y resinas.

-Residuos orgánicos putrecibles: los residuos orgánicos putrecibles incluyen residuos de la producción de aceites comestibles así como desperdicios de rastros y otros productos provenientes de animales. El manejo apropiado de residuos putrecibles es de particular importancia en países donde las condiciones climatológicas extremas pueden incrementar el posible riesgo a la salud asociado con estos residuos orgánicos.

-Residuos peligrosos/gran volumen: éstos incluyen aquellos residuos que presentan problemas debido a sus grandes volúmenes. Algunos ejemplos son: escorias metalíferas y lodos de perforaciones provenientes de la extracción de petróleo y gas.

-Residuos diversos: además de las clases de residuos descritas anteriormente existen otros tipos de residuos. Estos incluyen residuos infecciosos de tejidos humanos o animales, compuestos químicos que pueden haberse deteriorado o exceder su período de almacenamiento, los cuales provienen de tiendas de menudeo, almacenes comerciales y tiendas gubernamentales e industrias; residuos de laboratorio y residuos explosivos de las operaciones de manufactura de municiones. Aún cuando estos residuos no presentan una gran proporción del total de la generación de residuos peligrosos, se deben tomar medidas especiales para asegurar su disposición adecuada. (Batstone, Vol I, 1989)

CAPITULO III

DISPOSICION FINAL

Sin considerar la utilización de técnicas de destrucción, tratamiento, y estabilización, siempre habrá remanentes de residuos peligrosos de algunos materiales que tienen que ponerse en algún lugar. Un caso favorable es el de los residuos de hidrocarburos que al ser incinerados, se obtienen como productos dióxido de carbono y agua que se descargan a la atmósfera. Pero algunas veces incluso los remanentes de incineración se consideran residuos peligrosos. (Manahan, 1990)

Sólo existen dos alternativas para depositar los residuos: la disposición en tierra y la disposición en océanos. Sin embargo la disposición en tierra es la más utilizada, por lo cual será la única que se tratará en este capítulo. (Tchobanoglous, 1993)

3.1 METODOS DE DISPOSICION FINAL EN TIERRA

La disposición final en tierra consiste en colocar los residuos encima o por debajo de la superficie terrestre. En algunos casos se mezclan con el suelo; en otros, se hacen esfuerzos para evitar el contacto con él. La disposición en tierra ha sido restringida y sólo se permite para residuos tratados o residuos que cumplen determinadas especificaciones. (Manahan, 1990)

A continuación se describen brevemente los siguientes métodos de disposición final en tierra:

- a. Codisposición
- b. Aplicación en el suelo/landfarming
- c. Inyección en pozos profundos

y con más detalle el método de confinamiento controlado, tema principal de este documento.

a. Codisposición

La codisposición es la disposición de los residuos peligrosos con los domésticos u otros residuos similares. El objetivo central es el mantener la cantidad de residuos balanceada para asegurar que los procesos de atenuación no están excedidos. Por lo tanto es necesario el control de la cantidad de los residuos peligrosos que entren. La codisposición se considera como una opción de disposición segura y eficiente para muchos residuos peligrosos.

La codisposición utiliza las propiedades de los residuos domésticos para atenuar aquellos constituyentes, en residuos peligrosos, que son contaminantes y potencialmente peligrosos. (Batstone, Vol II, 1989)

b. Aplicación en el suelo/Landfarming

"Landfarming" es el término en idioma inglés con el que se conoce al método de aplicación en el suelo, donde el sustrato orgánico de un residuo se degrada biológicamente en la parte superior del suelo. Este método también se considera como una forma de disposición de residuos.

Este proceso se desarrolló hace más de veinte años por la industria del petróleo para el tratamiento de sus residuos. Recientemente, se viene utilizando para el tratamiento de un gran número de residuos industriales, inclusive algunos clasificados como peligrosos. En esencia, el "landfarming" es un proceso que consiste de la mezcla del residuo con la parte superficial del suelo (15 a 20 cm), que normalmente se conoce como zona arable. (CETESB, 1985)

El suelo es el reactivo de éste sistema de tratamiento y por lo tanto, se debe estudiar detalladamente. Los parámetros importantes a tener en cuenta son: los componentes del residuo que serán factor limitante en el establecimiento de las cantidades de aplicación, y el área requerida para el tratamiento de una cantidad determinada de residuo. El criterio de diseño basado en el tratamiento en tierra no se puede transferir de una localidad a otra, sólo es general el método de recopilación de datos. (CETESB, 1985)

c. Inyección en pozos profundos

La inyección en pozos profundos se utiliza para disponer residuos líquidos en los Estados Unidos de América. En 1984 hubo alrededor de 450 pozos de disposición de residuos industriales. Además otros miles de pozos se utilizaron para disponer aguas salinas que se obtienen de la producción de petróleo. Los pozos de inyección también se utilizan en otros países como Canadá, Japón, España y el Reino Unido. El método de inyección profunda consiste en aislar los residuos de la geología superior, colocándolos en formaciones profundas donde van a permanecer.

El residuo a inyectar es un líquido que puede recibir un pretratamiento para que no tapone o dañe el tubo de inyección. Sin embargo los pozos de inyección no se diseñan para residuos tratados; la disposición es su único propósito.

La práctica se basa en principios hidrogeológicos. Los residuos se inyectan en formaciones geológicas profundas que frecuentemente son muy salinas y que se encuentran aisladas de

formaciones superiores, como puede ser una fuente de suministro de agua para consumo humano. La profundidad promedio de los pozos de inyección en los Estados Unidos es de alrededor de 1200 metros desde el nivel del terreno a la parte superior de la zona de inyección. Además la separación promedio entre una formación de una fuente de suministro de agua para consumo humano y una zona de inyección es aproximadamente de 900 metros.

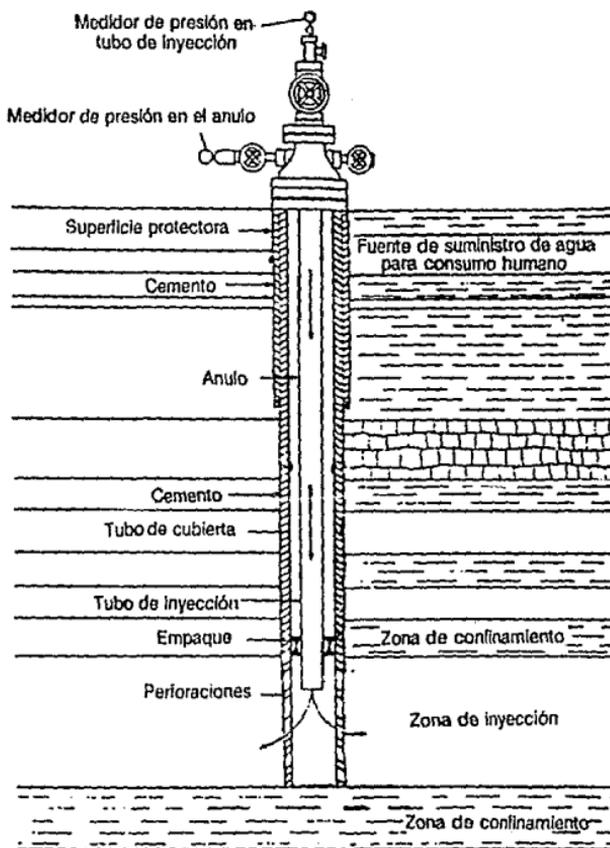


Figura 3.1 Esquema de un pozo de inyección profunda para residuos peligrosos. Fuente: Batstone, Vol II, 1989

Como se muestra en la figura 3.1 el pozo consiste de tubos concéntricos. El tubo exterior o superficie protectora debe extenderse por debajo de una formación de suministro de agua para consumo humano y está cementada en toda su longitud. Los dos tubos se colocan desde la superficie a la zona de inyección. El tubo de inyección se encuentra dentro del tubo de cubierta y se extiende desde la parte superior de la cubierta del pozo hasta la zona de inyección. El tubo de cubierta también se cementa en toda su longitud para asegurar que no entren residuos a las formaciones que se encuentran por arriba de la zona de inyección. El espacio (anulo) entre el tubo y la cubierta se cierra en el fondo por un empaque que previene la entrada de líquidos al anulo. El anulo generalmente se llena con un fluido presurizado que se mantiene a presión para prevenir el escape de los residuos al anulo, si llegara a presentarse una fuga. La parte superior del pozo contiene válvulas y medidores de presión para controlar la operación de inyección. (Batstone, Vol II, 1989)

3.1.1 Crítica a los métodos propuestos

La codisposición es una técnica en la que se reduce la peligrosidad de los residuos industriales al disponerlos junto con los residuos domésticos, disminuyendo así la necesidad de dos áreas diferentes. Como objeción se tiene el que no ha sido suficientemente estudiada.

Una objeción de la aplicación en el suelo es que requiere una gran extensión de terreno. Además deben caracterizarse perfectamente el suelo y el residuo para saber si es conveniente utilizar esta técnica; de lo contrario representa una amenaza potencial al ambiente.

La técnica de inyección en pozos profundos es una buena opción para la disposición de líquidos problema si las instalaciones se diseñan, construyen y operan apropiadamente. Para esta técnica no se necesita una gran extensión de terreno aunque se requiere el conocimiento total de las condiciones geológicas del sitio.

3.2 CONFINAMIENTOS CONTROLADOS

La utilización de confinamientos controlados ha sido la manera común de disponer los residuos peligrosos. En los Estados Unidos de América alrededor del 68% de los residuos generados, y en países Europeos aproximadamente el 47% de los mismos, se confinan. (Batstone, Vol II, 1989)

3.2.1 Descripción de confinamientos controlados

Un confinamiento controlado es una instalación de disposición donde los residuos peligrosos se colocan en el suelo. Se intenta sepultar o alterar los residuos de tal manera que no representen un peligro para la salud pública o el ambiente. Los confinamientos no son homogéneos y generalmente se conforman de celdas, en las cuales se coloca un volumen discreto de residuos peligrosos, aislándolos de las celdas adyacentes por una barrera apropiada. Las barreras entre celdas consisten comúnmente de una capa de suelo natural, generalmente arcillas, las cuales restringen el movimiento lateral o descendente de los lixiviados de los residuos peligrosos. Generalmente el rellenamiento se continúa por encima del nivel del terreno para utilizar eficientemente el espacio y suministrar un nivel para el escurrimiento de la precipitación. (Batstone, Vol II, 1989)

Un confinamiento controlado involucra varias etapas:

- a. Selección del sitio
- b. Diseño
- c. Construcción
- d. Operación
- e. Terminación y
- f. Postterminación. (Tchobanoglous, 1993)

Los confinamientos son un método común de manejo de residuos peligrosos tanto para los residuos no tratados como para los residuos de tecnologías de tratamiento y requieren una construcción cuidadosa así como un monitoreo y mantenimiento continuo. (Batstone, Vol II, 1989)

La figura 3.2 presenta una sección transversal de un confinamiento controlado de residuos peligrosos. Se representa la cubierta final e intermedia que representa condiciones de operación apropiadas, las celdas discretas de material confinado, el uso de membranas flexibles y un sistema de colección de lixiviados. (Batstone, Vol II, 1989)

Acerca de las cubiertas, los impermeabilizadores, condiciones de operación, terminación y postterminación se tratará en secciones subsecuentes.

En la figura 3.3 se muestra la sección transversal de un confinamiento terminado y cerrado. Los componentes integrales de un confinamiento controlado son: impermeabilizadores para proteger las aguas subterráneas de los lixiviados contaminantes, colección y tratamiento de lixiviados, pozos de monitoreo y una cubierta final.

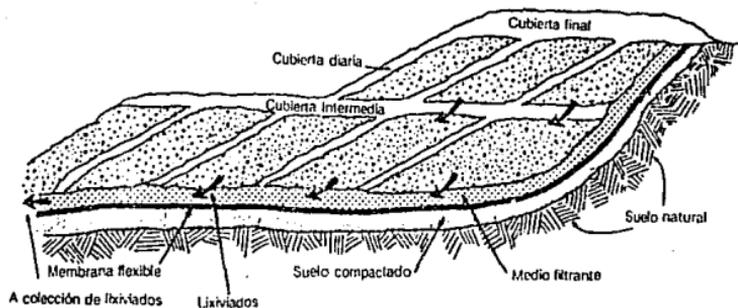


Figura 3.2 Esquema de la sección transversal de un confinamiento controlado. Fuente: Batstone, Vol II, 1989)

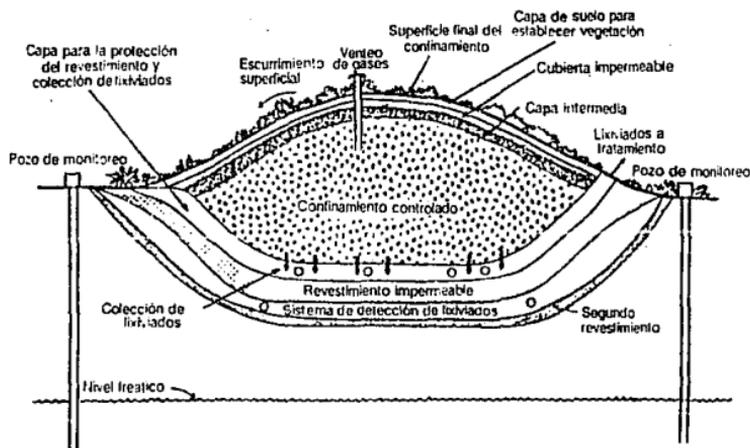


Figura 3.3 Esquema de la sección transversal de un confinamiento terminado y cerrado. Fuente: Batstone, Vol II, 1989

3.2.2 Residuos peligrosos aceptados en celdas de confinamiento

A continuación se mencionan los residuos peligrosos que pueden depositarse en las celdas de confinamiento de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-006-ECOL/1993.

a.Sólo podrán depositarse en la celda los residuos peligrosos previstos en la norma oficial mexicana NOM-CRP-001-ECOL/1993, con excepción de los que contengan sulfuros y cianuros reactivos, bifenilos policlorados con concentraciones >50 ppm, dibenzo-dioxinas-policlorados y dibenzo-furanos-policlorados, hexas(hexacloro-benceno, hexacloro-etano y hexacloro butadieno) o aquellos que contengan características de inflamabilidad.

b.En una misma celda no podrán depositarse residuos peligrosos incompatibles en los términos de la norma NOM-CRP-003-ECOL/1993.

c.Sólo podrán depositarse en la celda residuos explosivos estabilizados.

d.Los residuos inflamables cuyo punto de inflamación sea igual o inferior a 60°C solo podrán depositarse estabilizados.

e.Sólo podrán depositarse en la celda los residuos peligrosos a granel cuando el porcentaje de agua en los mismos no exceda del 30%. Los que excedan este porcentaje deberán depositarse envasados.

f.No podrán depositarse residuos peligrosos cuyo contenido en aceite sea superior al 5%.

g.Los residuos cuyo contenido en aceite sea igual o inferior al 5% no podrán depositarse en la celda si contienen más del 25% de humedad.

3.3 REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE EN MATERIA DE RESIDUOS PELIGROSOS, CON RESPECTO A LA DISPOSICION FINAL

El Reglamento señala en su capítulo II, "De la generación de Residuos Peligrosos", artículos 31 a 39 los aspectos que se deben tomar en consideración en la disposición final.

Dicho Reglamento especifica que los sistemas para la disposición final de residuos peligrosos son:

- a.Confinamientos controlados;
- b.Confinamientos en formaciones geológicas estables; y
- c.Receptores de agroquímicos

La selección del sitio, así como el diseño y construcción de confinamientos controlados y de receptores de agroquímicos deberán sujetarse a las normas técnicas ecológicas que al efecto se expidan. La localización y selección de sitios para confinamientos en formaciones geológicas estables, deberán sujetarse a las normas técnicas ecológicas correspondientes.

El proyecto para la construcción de un confinamiento controlado deberá comprender como mínimo lo siguiente:

- a. Celdas de confinamiento;
- b. Obras complementarias; y en su caso,
- c. Celdas de tratamiento.

El diseño y construcción de las celdas de confinamiento y de tratamiento, así como la construcción de las obras complementarias, se sujetarán a las normas técnicas ecológicas correspondientes.

La operación de los confinamientos controlados y de las celdas de confinamiento y tratamiento, así como la operación de los confinamientos en formaciones geológicas estables y de los receptores de agroquímicos, se sujetarán a las normas técnicas ecológicas que al efecto se expidan.

Una vez depositados los residuos peligrosos bajo alguno de los sistemas a que se refiere anteriormente, el generador y, en su caso, la empresa de servicios de manejo contratada para la disposición final de residuos peligrosos, deberán presentar a la SEDESOL, un reporte mensual con la siguiente información:

- a. Cantidad, volumen y composición de los residuos peligrosos depositados;
- b. Fecha de disposición final de los residuos peligrosos;
- c. Ubicación del sitio de disposición final;
- d. Sistemas de disposición final utilizado para cada tipo de residuo.

Ningún residuo que hubiere sido depositado en alguno de los sistemas de disposición final previstos en el Reglamento deberá salir de éste, excepto cuando hubieren sido depositados temporalmente con motivo de una emergencia.

Además se señala la disposición final específica para:

a. Minería. La disposición final de los residuos peligrosos generados en la industria minera se efectuará en las presas de jales y de conformidad con lo dispuesto en las normas técnicas ecológicas correspondientes.

Las presas de jales podrán ubicarse en el lugar que se originen o generen dichos residuos, excepto arriba de poblaciones o de cuerpos receptores ubicados a una distancia menor de 25 kilómetros que pudieran resultar afectados.

b. Bifenilos policlorados. El manejo de los bifenilos policlorados deberá sujetarse a lo dispuesto en el Reglamento y a las normas técnicas ecológicas que al efecto se expidan.

Se prohíbe la disposición final de bifenilos policlorados, o de residuos que los contengan, en confinamientos controlados y en cualquier otro sitio.

Estos residuos sólo podrán destruirse de acuerdo con las normas técnicas ecológicas correspondientes, bajo cualquiera de los siguientes métodos:

- Químicos catalíticos, en el caso de residuos con bajas concentraciones; e
- Incineración, tratándose de residuos que contengan cualquier concentración. (R. SEDESOL)

3.4 ASPECTOS ECONOMICOS

Los costos de los confinamientos de residuos peligrosos generalmente se categorizan en costos de capital, y costos de operación.

3.4.1 Costos de Capital

Los costos de capital incluyen todos los costos iniciales que se requieren antes de que comiencen las operaciones de confinamiento. Los costos de capital generalmente incluyen:

a. La adquisición del terreno.

b. Planeación y diseño.

c. La preparación del sitio, incluyendo el deshierbado, la construcción de caminos, el control de aguas superficiales y de lixiviados, excavación de áreas de disposición, preparación de almacenamiento de suelo, e instalación de pozos de monitoreo.

d. Construcción de instalaciones (por ejemplo, oficinas, laboratorio, caseta de vigilancia, estacionamientos, etc). Generalmente se supone que este tipo de instalaciones tienen una vida útil de 15 años.

e. Compra de equipo. El costo del equipo es muchas veces una porción significativa de los gastos iniciales. El mercado del equipo es competitivo, pero una aproximación burda de los costos pueden obtenerse de los vendedores de equipo en la localidad. Es una regla el considerar que una pieza de equipo utilizado para excavar y compactar tiene una vida útil de 5 años o 10000 horas de operación. Los costos del equipo son altos, sin embargo, puede ser prudente reparar la máquina al final de cinco años o de 10000 horas de operación, y entonces reemplazar la máquina después de otros dos o tres años, ó 5000 ó 7000 horas de operación. En caso de rentar el equipo se considera costo de operación.

Los costos de terminación pueden ser significativos. Muchas veces se establece un fondo de terminación para reunir dinero durante la vida de operación del confinamiento, y poder cubrir gastos de capital que se contraigan en el futuro.

-En cuanto a los costos de las membranas no hay una regla general. El costo depende del revestimiento seleccionado, la cantidad y la dificultad para instalarlo.

a. Material

La mayoría de los revestimientos que se utilizan actualmente se basan en la formación de láminas de materiales poliméricos. Debido a que las materias primas provienen de fuentes similares y los procesos de manufactura son muy parecidos, existen varios materiales que son competitivos en costo. Los costos de los materiales generalmente conforman la mayor parte de los costos de una instalación de los revestimientos. El costo del material regularmente es las dos terceras partes del costo total de instalación.

b. Instalación

Si los costos promedio del material son las dos terceras partes, entonces una tercera parte del costo de instalación es para trabajo y equipo. Algunos revestimientos requieren muy poco equipo para propósitos de unión, mientras que otros requieren equipo caro. También algunos revestimientos están disponibles en láminas muy grandes requiriendo menores uniones en el campo. Probablemente el PVC es el menos caro para instalar en base a un metro cuadrado y el EDPM el más caro.

4.1.2 Costos de Operación

Es común el calcular los costos anuales de operación basándose en el costo por unidad de residuo recibido. Los costos de operación para un confinamiento variarán significativamente debido a que las condiciones locales y la rapidez con la que se trabaja es específica del sitio.

Los costos de operación incluyen:

- Labores, incluyendo operaciones, administración y mantenimiento.
- Combustible del equipo.
- Mantenimiento de partes y del equipo. Los costos de mantenimiento y reparación del equipo varían ampliamente. Suponiendo una vida útil de 10000 horas, los costos de mantenimiento de equipo pesado para mover tierra, pueden esperarse que sean de la mitad de los costos iniciales de la maquinaria.
- Gastos de materiales y suministros.
- Servicios (electricidad, aceite de calentamiento, drenaje, gas y teléfono).
- Inspección e ingeniería durante la operación.
- Análisis de laboratorio (para muestras de agua, lixiviados, y gases obtenidos a través del programa de monitoreo ambiental).
- Mantenimiento después de la terminación. Estos costos no serán contraídos hasta después de que la instalación se haya cerrado a la recepción de residuos. (Wright, 1989)

CAPITULO IV

PARAMETROS PARA SELECCIONAR EL SITIO

La factibilidad de un sitio para construir un confinamiento controlado depende de varios factores, todos de gran importancia e insustituibles, como son:

- Vida útil de la instalación
- Accesibilidad
- Crecimiento de centros de población
- Opinión pública
- Costos
- Climatológicos
- Topográficos
- Sísmicos
- Ecológicos
- Hidrología Superficial
- Geohidrológicos

Debido a los requerimientos de un sitio para minimizar la migración de los contaminantes, hay pocos sitios potenciales a evaluar.

4.1 VIDA UTIL DE LA INSTALACION

La vida útil de la instalación para disposición, se determina por factores como es el área del sitio, disponibilidad de la cubierta de suelo y la cantidad del residuo que se entrega. (Wright, 1989)

Aunque no hay reglas fijas referentes al área requerida es deseable el tener área suficiente para operar un tiempo largo, ya que para periodos cortos la operación de disposición es muy cara, especialmente por la preparación del sitio y construcción de instalaciones auxiliares. (Tchobanoglous, 1993).

Se recomienda que la vida útil de un confinamiento sea de por lo menos 10 años. (CETESB, 1985)

Típicamente el área utilizable para confinar residuos se encuentra en un rango de 50 a 80 % del área total del sitio, el resto se dispone para:

- Amortiguamiento entre el área de confinamiento y las propiedades adyacentes a las fronteras del sitio,
- Camino de acceso,

-Area de almacenamiento de suelo fuera de la superficie de confinamiento, y
-Edificios en el sitio y áreas de almacenamiento de equipo. (Wright, 1989)

4.2 ACCESO

En la accesibilidad de un sitio se debe considerar lo siguiente:

El camino de acceso que une al sitio con las vías principales de comunicación debe ser transitable todo el tiempo y estar en buenas condiciones de seguridad. El sitio debe localizarse a no menos de 500 metros de vías de comunicación federal o estatal. (NOM-CRP-004-ECOL/93)

Aunque es deseable una distancia mínima de recorrido, se deben considerar también otros factores. Estos incluyen la localización de la ruta de recolección, tráfico local y características de los caminos de y hacia el sitio de disposición. (Tchobanoglous, 1993)

4.3 CRECIMIENTO DE CENTROS DE POBLACION

Con respecto al crecimiento de población, debe considerarse que:

a. La distancia del límite del centro de población debe ser como mínimo de 25 kilómetros para poblaciones mayores de 10,000 habitantes con proyección de 27 años.

b. La distancia del límite del centro de población debe ser como mínimo de 15 kilómetros para poblaciones entre 5,000 y 10,000 habitantes con proyección de 27 años. (NOM-CRP-004-ECOL/93)

Se debe situar un confinamiento en zonas poco pobladas, y tener en cuenta la susceptibilidad por ruidos, olores, congestión de tráfico y mal aspecto urbano. (CETESB, 1985)

4.4 OPINION PUBLICA

Las relaciones públicas son las actividades que las autoridades municipales, federales, y los técnicos deben cuidar durante la selección del sitio. Desde el inicio del proceso de selección, el público debe tener oportunidad de participar, comentar y objetar las propuestas realizadas, ya que si la población está inconforme puede evitar que se lleve a cabo la construcción de la instalación.

En todos los casos es esencial asegurar el apoyo de los distintos sectores de la comunidad, durante las fases de selección, diseño, construcción y operación del confinamiento controlado. (CETESB, 1985)

4.5 COSTOS

Antes de proceder a elaborar el diseño del confinamiento controlado, es primordial tener en cuenta el costo del terreno y cuán factible es su adquisición. Además se debe efectuar una estimación de la inversión necesaria para su adecuación y para la construcción de las obras de infraestructura. (CETESB, 1985)

4.6 CLIMATOLOGICOS

En el aspecto climatológico debe tenerse en cuenta lo siguiente:

a. Ubicarse en áreas donde se evite que los vientos dominantes transporten las posibles emanaciones a los centros y sus asentamientos humanos.

b. La porción de la lluvia promedio diaria susceptible de infiltrarse, calculada a partir del coeficiente de escurrimiento promedio diario, debe ser menor que la capacidad de campo del terreno.

c. Evitar regiones con intensidad de precipitación media anual mayor de 2000 milímetros.

d. La evaporación promedio mensual, debe ser al menos el doble de la lluvia promedio mensual. (NOM-CRP-004-ECOL/93)

Se recomienda que la evapotranspiración exceda la precipitación anual en por lo menos 500 mm. (CETESB, 1985)

Las condiciones locales del clima deben ser consideradas en la evaluación de sitios potenciales. En muchas localidades, el acceso al sitio será afectado por las condiciones de invierno. Donde el frío es severo, el material de cubierta de los rellenos debe estar disponible en almacenes. (Tchobanoglous, 1993)

4.7 TOPOGRAFICOS

En el aspecto topográfico debe considerarse que:

La pendiente media del terreno natural del sitio de confinamiento no debe ser menor de 5% ni mayor de 30%. (NOM-CRP-004-ECOL/93)

Cuando se utiliza un sitio plano para un confinamiento, se diseña la superficie final del sitio en forma de una pequeña elevación arriba del nivel normal. La altura final de la elevación se basa generalmente en consideraciones estéticas y disponibilidad de suelo de cubierta. El suelo de cubierta se obtiene idealmente de excavaciones en el sitio. El ancho y la profundidad de la excavación dependen de algunos factores, entre los que se encuentra la facilidad de la excavación del suelo, la profundidad a la que se encuentran las aguas subterráneas, la altura final de la superficie del confinamiento, y la entrada de residuos proyectada. (Wright, 1989)

4.8 SISMICOS

En el aspecto sísmico debe tenerse en cuenta lo siguiente:

a. Ubicarse preferentemente en zona asísmica

b. De no cumplirse la condición anterior, el riesgo sísmico debe ser mínimo por lo que no deben haberse registrado más de cuatro sismos de magnitud mayores de 7 grados en la escala de Richter en los últimos 100 años. (NOM-CRP-004-ECOL/93)

La integridad estructural de las rocas es importante en zonas de riesgo sísmico. Es importante evitar zonas que presenten fracturas, debido a que una actividad sísmica puede dañar las celdas de confinamiento y a que representan un camino natural para el flujo de contaminantes, incluso en rocas de poca permeabilidad y porosidad. (Wentz, 1989)

4.9 ECOLOGICOS

En cuanto al aspecto ecológico debe:

a. Ubicarse fuera de las zonas que comprende el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas y de las zonas de patrimonio cultural.

b. Ubicarse en áreas en donde no represente un peligro para las especies protegidas o en peligro de extinción, o en aquellas en las que el impacto ambiental sea mínimo para los recursos naturales. (NOM-CRP-004-ECOL/93)

4.10 HIDROLOGIA SUPERFICIAL

Con respecto a la hidrología superficial debe tenerse en cuenta lo siguiente:

a. Ubicarse fuera de llanuras de inundación con un período de retorno de 10,000 años delimitado con un ajuste de tipo Gumbell.

b. Estar alejado en desnivel 20 metros a partir del fondo del cauce de corrientes con un escurrimiento medio anual mayor de 100 metros cúbicos.

c. Estar alejado longitudinalmente 500 metros a partir del centro del cauce de cualquier corriente superficial, ya sea permanente o intermitente, sin importar su magnitud.

d. La cuenca de aportación hasta el sitio debe ser en lo posible, pequeña y cerrada.

e. De no cumplirse la condición anterior debe ubicarse dentro de la cuenca hidrológica aguas abajo de asentamientos humanos mayores de 10,000 habitantes y de zonas con una densidad industrial mayor de 50 industrias. (NOM-CRP-004-ECOL/93)

4.11 GEOHIDROGEOLOGICOS

En el aspecto geohidrogeológico se debe considerar lo siguiente:

a. Ubicarse preferentemente en una zona que no tenga conexión con acuíferos.

b. De no cumplirse la condición anterior el acuífero subyacente debe estar a una profundidad mínima de 200 metros.

c. De no cumplirse las condiciones anteriores, el acuífero subyacente debe ser un acuífero confinado y las características del material ubicado entre éste y la superficie, deben ser tales que cualquier elemento contaminante quede retenido en él antes de llegar al acuífero. (NOM-CRP-004-ECOL/93)

4.11.1 Propiedades de los suelos

La evaluación de las propiedades del suelo debe hacerse como parte de un análisis detallado de las investigaciones de campo. Las propiedades de los suelos de interés incluyen: (Batstone, Vol II, 1989)

- a. Textura, porosidad y granulometria
- b. Permeabilidad
- c. Intercambio catiónico

a. Textura, porosidad y granulometria

La porosidad se refiere a los espacios vacíos que se encuentran entre los granos del suelo: los poros del suelo se llenan con agua o aire. por lo tanto hay tres fases constituyentes de los suelos: sólida, líquida y gaseosa.

El tamaño de los granos del suelo que forman la fase sólida se llama textura y su medida granulometria. La disposición de los granos en relación al agua intersticial y al aire de la fase gaseosa constituye la estructura del suelo. Para el estudio de la textura de los suelos granulares (arenas y gravas), el método usado es el de simple tamizado, utilizándose tamices estandarizados. Para suelos más finos, como arcillas y limos el tamizado es impracticable; los tamices deberían tener aberturas de malla extremadamente pequeñas, imposibles de obtenerse industrialmente. Así, para granos menores que 0.075mm, se emplea el método de análisis por sedimentación. (CETESB, 1985)

Un suelo arenoso debe contener arena en por lo menos 70% en peso, y un suelo arcilloso debe contener por lo menos el 35% de arcilla. (Batstone, Vol II, 1989)

b. Permeabilidad

Se refiere a la facilidad con que el agua se mueve a través del suelo y se determina por el tamaño de poro del suelo, es decir de la textura. Los poros están en un rango de tamaño de pocos micrones a algunos milímetros de diámetro. Generalmente entre más fina sea la textura del suelo más baja es la permeabilidad, tal es el caso de las arcillas. La permeabilidad se expresa en unidades de distancia por unidad de tiempo. (Batstone, Vol II, 1989)

c. Intercambio catiónico

Otra característica importante de un suelo es la capacidad de retener iones disueltos.

Los granos de arcilla tienen carga eléctrica negativa y sobre su superficie existen cationes adsorbidos, los cuales pueden ser sustituidos por otros. Iones cargados positivamente como el amonio, calcio, magnesio y sodio son atraídos y retenidos por la arcilla.

Como resultado de este fenómeno, los iones cargados positivamente (cationes) se retendrán por suelos con un alto contenido de arcilla, mientras que los iones cargados negativamente (aniones), como los iones nitrato y cloruro, no se retendrán y se moverán junto con el agua en el suelo. Entre más grande sea la capacidad de intercambio catiónico de un suelo, más grande será su potencial para retener constituyentes de los residuos y por lo tanto mejor para la disposición de los mismos. La capacidad de intercambio catiónico es una función del tipo y cantidad de arcilla en el suelo. (Batstone, Vol II, 1989)

4.11.2 Características geológicas apropiadas para confinamientos controlados

Para el caso de un confinamiento controlado se recomiendan como características geológicas apropiadas:

a. Constituido por un depósito extenso y homogéneo de suelo arcilloso. Debido al tamaño muy pequeño de poro que presentan estos suelos, la infiltración tiende a ser baja.

b. Preferentemente con una permeabilidad no mayor de 10^{-7} cm/seg.

c. Que presente un pH mayor o igual a 7

d. Que presente un porcentaje superior al 30% de partículas que pasen por una malla número 200.

La ejecución de perforaciones en el terreno es necesaria para permitir un conocimiento razonable de las propiedades del suelo, de esa manera se pueden determinar los siguientes datos: nivel del acuífero, granulometría, porosidad y coeficiente de permeabilidad. Se recomienda un mínimo de 3 perforaciones para un simple reconocimiento. (CETESB, 1985)

CAPITULO V

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE OBRAS COMPLEMENTARIAS

Las obras complementarias son un conjunto de obras de apoyo necesarias para llevar a cabo la operación del confinamiento controlado.

5.1 CERCA PERIMETRAL Y AREA DE AMORTIGUAMIENTO

La cerca perimetral del confinamiento controlado deberá construirse con alambre de púas de cinco hilos de 1.50m de alto, a partir del nivel del suelo con postes de concreto o tubo galvanizado debidamente empotrados.

La cerca de seguridad para zonas restringidas del confinamiento controlado deberá ser de malla tipo ciclónica de 5cm de separación, soportada con postes de tubo galvanizado de 2 pulgadas de diámetro colocados como máximo cada 3m entre sí y con una altura mínima de 2.60m.

El área de amortiguamiento deberá diseñarse y construirse en un espacio perimetral interior, de por lo menos 12m de ancho. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

Esta área debe destinarse al plantío de árboles y arbustos que formen una cerca viva para mejorar la estética del lugar y dificultar la visión al interior del sitio. (CETESB, 1985)

5.2 CASETA DE VIGILANCIA

La caseta de vigilancia deberá instalarse a la entrada del confinamiento controlado y tendrá dimensiones mínimas de 4m². (NOM-CRP-005-ECOL/93)

5.3 AREAS DE ACCESO

Las áreas de acceso y espera tienen como propósito el control de entradas y salidas del personal y vehículos del confinamiento controlado.

El área de acceso debe tener un ancho de 8.00m como mínimo.

El área de espera deberá tener la capacidad suficiente para el estacionamiento de los vehículos que transporten residuos peligrosos y que requieran esperar turno de acceso. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

5.4 CASETA DE BASCULA

La caseta de pesaje contará con una superficie mínima de 16m² para alojar el dispositivo indicador de la báscula y el mobiliario necesario para el registro y archivo de datos.

La báscula deberá ubicarse cerca de la entrada del confinamiento controlado y contar con:

a. Superficie de dimensiones suficientes para dar servicio a la unidad de transporte de mayor capacidad de carga y capacidad mínima de 60 toneladas.

b. La báscula podrá ser de operación manual o semiautomática con divisiones mínimas de 2 a 5 kg, precisión de 2 a 4 kg y su instalación deberá apegarse a las especificaciones del fabricante. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

5.5 AREA ADMINISTRATIVA

El área administrativa deberá contar con el espacio suficiente para la instalación de sus oficinas. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

Generalmente cuando existe una sala de capacitación y un comedor, se encuentran en el área administrativa.

El servicio de primeros auxilios normalmente se encuentra dentro del área administrativa y deberá contar con mobiliario, equipo y medicamentos. (Wright, 1989)

5.6 TALLER DE MANTENIMIENTO

El taller de mantenimiento será para el servicio de reparaciones de maquinaria pesada y vehículos, y deberá:

a. Estar ubicado cerca de las celdas de confinamiento

b. Contar con cobertizo para el resguardo de maquinaria pesada y vehículos, que incluya un almacén o bodega para las herramientas básicas, partes y refacciones, que se requieran en las reparaciones mecánicas de tipo común. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

5.7 SERVICIOS SANITARIOS

Los servicios sanitarios, las regaderas y los casilleros para ropa, se instalarán conforme al número de trabajadores del confinamiento.

5.8 LABORATORIO

El laboratorio de análisis deberá contar con los dispositivos y equipo necesarios para la toma de muestras, verificar la composición y características de peligrosidad de los residuos, así como para realizar los análisis de lixiviados, gases y aguas subterráneas.

El laboratorio debe reunir como mínimo las condiciones siguientes: (NOM-CRP-005-ECOL/93)

- a. Localizarse fuera del área administrativa y de las celdas de confinamiento.
- b. Contar con extracción de aire, con arreglos de bocatomas para las mesas de trabajo y vacío.
- c. Iluminación a prueba de explosión.
- d. Pisos antiderrapantes y sellados.
- e. Mesas de trabajo con instalación eléctrica.
- f. Materiales de construcción no inflamables.
- g. Tarja de acero inoxidable.
- h. Tanque de recepción de agua para lavado de equipo.
- i. Regadera de emergencia.
- j. Lavaojos y solución lavadora de ojos.
- k. Múltiple con cinturón para sujeción de cilindros.
- l. Estantería para el almacenamiento de reactivos.
- m. Campana de extracción.
- n. Área de instrumentos.
- n. Tanque o fosa de recepción de aguas de lavado de equipo.

El laboratorio estará dividido por áreas de acuerdo al tipo de análisis que se realicen.

Los análisis rutinarios podrán ser realizados en el sitio, y los más complejos como es la determinación de metales pesados, se realizarán en laboratorios fuera de las instalaciones, debido a que para estos análisis se requieren equipos sofisticados.

5.9 CAMINOS

Los caminos son de dos tipos: exteriores e interiores.

-Caminos exteriores

Los caminos exteriores deben cumplir como mínimo las especificaciones siguientes:

a. Ser de tipo permanente.

b. Garantizar el tránsito a todo tipo de vehículos que acudan al confinamiento en cualquier época del año.

c. Cuando por requerimientos de carga de diseño y volumen de tránsito de los caminos exteriores, se haga necesaria la colocación de una carpeta asfáltica, esta superficie de rodamiento deberá estar definida por el trazo del camino incluyendo cortes y terraplenes misma que definirá la subrasante. En este caso, para recibir la carpeta se deberán construir:

-Una sub-base con un espesor mínimo de 12cm formada de material natural producto de la excavación o explotación de bancos de materiales.

-Una base con espesor de 12cm de grava controlada y arena compactada al 95% mínimo de la Prueba Proctor.

-El espesor de la carpeta asfáltica, cuya finalidad es proporcionar una superficie estable, uniforme, impermeable y de textura apropiada, se calculará en función del valor relativo de soporte del suelo, de la carga de diseño y del volumen de tránsito.

-Caminos interiores

Los caminos interiores deben cumplir las especificaciones siguientes:

a. Facilitar la doble circulación de vehículos que transporten los residuos peligrosos, hasta el frente de operación de las celdas de confinamiento.

b. Ser de tipo temporal o permanente y suficientes en número para dar acceso a las celdas en operación.

c. Cuando sea requerido por carga de diseño, el camino interior estará integrado por base y sub-base, de acuerdo con las especificaciones establecidas en el punto c de caminos exteriores. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

El ancho de los caminos generalmente es de 6 a 7 metros para permitir la doble circulación. (Wright, 1989)

5.10 AREA DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL

El área de almacenamiento temporal estará destinada para la recepción de residuos peligrosos incompatibles, cuando sea necesario el tratamiento previo, no haya celda disponible o cuando no sea posible en forma inmediata realizar su confinamiento. Esta área deberá:

a. Tener una capacidad mínima de siete veces el volumen promedio de residuos peligrosos que diariamente se reciban.

b. Contar con los compartimientos suficientes para la separación de los residuos según sus características de incompatibilidad.

c. Estar techada con material no inflamable, contar con equipo contra incendios y plataformas para la descarga de envases y embalajes.

d. Tener capacidad para estibar como máximo tres tambores de 200 L conteniendo residuos peligrosos

En el área de almacenamiento temporal no se deberán depositar residuos a granel. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

5.11 AREA DE EMERGENCIA

El área de emergencia estará destinada para la recepción de residuos peligrosos que:

a. Provengan de alguna contingencia

b. Requieran de almacenamiento temporal por un periodo no mayor de tres meses.

c. Deban estabilizarse para su depósito en celdas especiales, o en su defecto, para ser retirados a otro confinamiento que cumpla con los requisitos de seguridad que señalen las normas oficiales mexicanas aplicables.

El área de emergencia deberá:

a. Estar ubicada en un lugar separado de las demás obras complementarias

b. Tener una superficie de $20m^2$ como mínimo.

c. Estar techada con material no inflamable.

d. Contar con los compartimientos suficientes para mantener separados los residuos peligrosos en función de sus características físico-químicas y tóxicas. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

5.12 AREA DE LAVADO DE VEHICULOS

El área de lavado de vehículos de transporte, equipos y materiales utilizados en la operación del confinamiento, deberá reunir las condiciones siguientes:

a. Estar ubicada a distancia del área administrativa y cerca de las celdas de confinamiento;

b. Contar con iluminación suficiente;

c. Estar dotada con equipo de agua y aire a presión;

d. Tener pisos con acabado rugoso y juntas estructurales debidamente selladas a la losa de desplante;

e. Tener instaladas en los pisos canaletas y rejillas con pendiente de un 2% para conducir los líquidos a un depósito con capacidad suficiente para captar los líquidos que se generen.

f. Ser de fácil aseo y evitar espacios muertos. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

El lavado de los vehículos asegura, que cuando éstos dejan las instalaciones no acarrean contaminantes ni llenan de fango los caminos de los alrededores y es particularmente útil en climas húmedos y cuando los camiones tienen que pasar a través o cerca de áreas residenciales o comerciales. (Wright, 1989)

5.13 DRENAJE PLUVIAL

Las obras de drenaje pluvial exterior, conforme a las condiciones topográficas del sitio, deben ser a base de canales abiertos con diques o muros de contención, y sujetarse a las bases siguientes:

a. En condiciones topográficas suaves, deben emplearse canales abiertos para el desvío de las corrientes provenientes de las áreas circundantes;

b. En el caso de que el terreno sea plano, el contorno se deberá proteger mediante muros de contención.

c. Los canales deben revestirse con mortero; cemento-arena en proporción 1:3 o mediante un zampeado de piedra juntoada con mortero, cemento-arena en proporción 1:5. La velocidad del agua dentro de los canales no debe ser menor de 0.60m/seg, ni mayor de 3.00m/seg.

Las obras de drenaje interior deberán:

-Construirse mediante canales de sección triangular con taludes 3:1, rellenos de grava de 3cm de diámetro de tamaño máximo, para evitar socavaciones.

-Captar las aguas pluviales y conducir las a una celda con impermeabilización natural o sintética en la base.

En los drenajes exteriores e interiores la dimensión de los canales se efectuará mediante la fórmula de Manning, obteniendo el gasto de diseño a partir del Método Racional Americano o la fórmula de Burkli-Ziegler. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

Fórmula del Método Racional Americano:

$$Q = \frac{C i A}{0.36}$$

Q=Gasto máximo en L/seg.

C=Coefficiente de escurrimiento.

i=Intensidad de lluvia en mm/hr.

A=Área por drenar en Ha.

0.36=Factor de conversión.

Fórmula de Burkli-Ziegler:

$$Q = 27.78 C i S^{1/4} A^{3/4}$$

Q=Gasto máximo en L/seg.

C=Coefficiente de escurrimiento (sin dimensiones).

i=Intensidad de lluvia en cm/hr.

S=Pendiente del terreno en milésimas.

A=Área por drenar en Ha.

5.14 INSTALACIONES DE ENERGIA ELECTRICA.

Las instalaciones de energía eléctrica tendrán por objeto satisfacer las necesidades de iluminación de las áreas que lo ameriten, así como para el funcionamiento de los equipos y maquinaria que lo requieran.

La iluminación será interior y exterior, con base en las condiciones siguientes:

a. En la iluminación interior, la cantidad de luces necesarias se determinará en atención, a las áreas a iluminar y las actividades que en las mismas se realicen, y

b. La iluminación exterior debe ser perimetral con postes colocados a una distancia mínima de 50m y altura mínima de 3m.

El confinamiento deberá contar con una fuente de energía eléctrica para emergencias. La que deberá reunir los requisitos siguientes:

a. Estar ubicada en un lugar que permita la ventilación directa o la extracción de humos y gases por chimeneas;

b. No instalarse en lugares con atmósferas peligrosas;

c. Tener la capacidad suficiente para el servicio a las áreas indispensables. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

5.15 SEÑALAMIENTOS

Los señalamientos se instalarán en cantidad suficiente y de manera que permitan la correcta operación del confinamiento controlado.

Los señalamientos deberán instalarse en el área de acceso, en los caminos exteriores e interiores, andadores y zonas restringidas.

Los señalamientos deberán ser de tres tipos: informativo, preventivo y restrictivo.

Los señalamientos de tipo informativo deberán:

a. Estar ubicados en sitios próximos a la caseta de pesaje, báscula y demás lugares de interés, a una distancia no menor de 60m ni mayor de 150m de dicho sitio;

b. Colocarse sobre placas de 0.60 X 0.40m.

c. Ser de colores en fondo blanco con biseles y letras negras.

Los señalamientos de tipo preventivo deberán:

a. Estar ubicadas en los sitios próximos a curvas o entronques, a una distancia no menor de 60m, ni mayor de 150m en todos los casos;

b. Colocarse sobre placas de 0.60 X 0.60m.

c. Ser de colores en fondo amarillo con biseles y letras negras.

Los señalamientos de tipo restrictivo deberán:

a. Indicar la velocidad permitida, el sentido de circulación y el señalamiento de los sitios en los que se prohíba el estacionamiento de vehículos;

b. Colocarse sobre placas de 0.45 X 0.60m, y

c. Ser de colores en fondo blanco con biseles y letras rojas.

Las placas de señalamiento deberán estar fijadas en postes tubulares galvanizados de 5cm de diámetro, y con una altura de 1.50m a partir del nivel del piso a la parte inferior del señalamiento.

El anclaje de los postes para los señalamientos fijos debe tener su base a 0.30m de profundidad, en los señalamientos móviles, pueden emplearse llantas de automóvil rellenas de concreto o crucetas de solera de acero con sección en ángulo. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

CAPITULO VI

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE CELDAS

6.1 FORMAS DE LOS CONFINAMIENTOS

Una vez determinadas las características del sitio, se debe proceder a la determinación de la forma del confinamiento. Las formas principales de los confinamientos son: área y trinchera. (CETESB, 1985)

a. Área

Este método se puede usar en cualquier terreno disponible como canteras abandonadas, inicio de cañadas y terrenos planos.

La preparación del sitio incluye la instalación de un revestimiento y un sistema de control de lixiviados. El método consiste en depositar los residuos sobre un talud inclinado, para formar la celda que después se cubre con tierra. Las celdas se construyen inicialmente en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo. El material de cubierta se acarrea de terrenos adyacentes. (CETESB, 1985)

b. Trinchera

En la mayoría de los casos, los residuos peligrosos son depositados inicialmente debajo de la superficie del terreno en una trinchera natural o excavada para ese propósito. El residuo es depositado en una de las extremos de dicha trinchera formando celdas y cubriéndola regularmente. (CETESB, 1985)

Las trincheras se impermeabilizan con membranas sintéticas, arcilla de baja permeabilidad o una combinación de las dos para limitar el movimiento de los gases y lixiviados. El depósito de los residuos sólidos es sobre un talud inclinado (talud 1:3), donde son esparcidos y compactados en capas hasta formar una celda que después será cubierta con el material excavado de la trinchera, con una frecuencia mínima de una vez al día esparciéndolo y compactándolo sobre el residuo. El rellenamiento procede por encima de la superficie, hasta formar un montículo que incrementa la capacidad del confinamiento y causa el desagüe de la precipitación incidente en su superficie. Este método es usado normalmente donde el nivel freático es profundo. (Tchobanoglous, 1993)

6.2 CELDAS DE CONFINAMIENTO

Los residuos peligrosos entregados a un sitio de confinamiento se colocan de tal manera que sólo los residuos compatibles se disponen juntos. Para lograr estos objetivos, los residuos se colocan ya sea en áreas separadas o en celdas individuales.

Las celdas de control varían en tamaño dependiendo de la razón de entrega y las características de los residuos peligrosos recibidos. La altura de las celdas generalmente está en un rango de 5 a 6m, aunque este rango puede ser excedido dependiendo del tipo de residuo y la razón de entrega. Por ejemplo, las dimensiones de las celdas pueden diferir para entregas regulares de recipientes de 200 litros contra entregas ocasionales de suelos contaminados. La altura óptima de la celda se determina para conservar disponible suelo de cubierta mientras que se acomodan adecuadamente tantos residuos como sea posible.

Las celdas de confinamiento que reciben residuos peligrosos a granel, se construyen colocando y distribuyendo los residuos en capas de 0.6 a 0.9m y posteriormente se compactan. Una capa delgada de 0.30m de suelo de cubierta se coloca sobre los residuos al final de cada día de trabajo. (Wright, 1989)

6.2.1 Diseño y construcción de celdas de acuerdo a las normas oficiales mexicanas

Para el diseño y construcción de las celdas de confinamientos controlados para residuos peligrosos, se deberán observar los siguientes requisitos:

a. Las celdas deben contar con sistemas de captación de lixiviados.

b. Las celdas que contengan residuos que en su proceso de estabilización generen gases o vapores deben contar con sistemas de venteo.

c. Cuando en la celda se depositen residuos peligrosos envasados, la estiba no debe exceder una altura de 7 metros.

d. Los muros de contención deben tener un espesor de 60 cm de concreto, con una resistencia de 240 kg/cm² o su equivalente en otros materiales.

e. En las dos terceras partes del perímetro de la celda, como mínimo, debe existir un espacio suficiente para asegurar el acceso y maniobras del equipo necesario para movilizar los residuos.

f. Las pendientes de los taludes de la celda deben ser igual o menores al ángulo de reposo del material del propio talud.

g. Deberá efectuarse un análisis estructural de los taludes y fondo de la celda, que considere la acción de las siguientes cargas: presión de relleno, cargas de construcción, reparación, y sismo. Si la compactación resultara menos del 95% de la Prueba Proctor, deberán efectuarse las obras de ingeniería complementarias para alcanzar este porcentaje. El coeficiente sísmico del diseño será de 0.3 en todos los casos.

6.3 TIPOS DE IMPERMEABILIZACION

Los revestimientos o impermeabilizadores de los locales de disposición de residuos tienen por finalidad evitar que los lixiviados potencialmente peligrosos de los residuos, lleguen a los mantos freáticos contaminándolos.

El diseño de un revestimiento podría estar dirigido a la función dual de minimizar el movimiento descendente de los lixiviados mientras que se tratan al pasar a través del recubrimiento.

Existen dos tipos de impermeabilizaciones:

- a. Impermeabilización con suelos naturales y,
- b. Impermeabilización con membranas sintéticas. (CETESB, 1985)

6.4 IMPERMEABILIZACION CON SUELOS NATURALES

La naturaleza nos ha provisto con el suministro del material de impermeabilización más antiguo, más ampliamente aceptado y utilizado: la tierra.

Debido a su gran disponibilidad, los suelos arcillosos deben ser la primera alternativa considerada para impermeabilizar lugares de disposición de residuos. Debe efectuarse un análisis inicial del suelo del lugar de disposición, basado en criterios ingenieriles y ambientales, para evaluar si puede actuar como un revestimiento efectivo. Si el resultado de este análisis es negativo, se deben explorar otras alternativas. Un suelo del lugar de disposición, o que pueda ser adicionado al del lugar, dependiendo de sus características y propiedades puede ser compactado adecuadamente a fin de obtener un revestimiento de baja permeabilidad.

La compactación es un proceso que confiere densidad, resistencia y estabilidad al suelo, permitiendo el uso inmediato del confinamiento. Sin duda es un proceso mecánico que por vibración o presión, aumenta la densidad del suelo y consecuentemente, su resistencia.

El grado de compactación depende del tipo de suelo, de la humedad y de la energía empleada. Para un mismo suelo, cuanto mayor sea la energía aplicada para compactar, más cerca quedarán unos granos de otros.

La compactación se ejecuta en capas horizontales con 15 a 30 cm de espesor (antes de la compactación) sobre la cual pasa un cierto número de veces un equipo compactador. Esa operación se repite hasta que el confinamiento alcance la altura deseada. (CETESB, 1985)

6.5 IMPERMEABILIZACION CON MEMBRANAS SINTETICAS

En muchos de los proyectos no está disponible la tierra impermeable y se tiene que utilizar un sustituto. Por 30 años se han utilizado revestimientos sintéticos exitosamente, y la mayoría de los impermeabilizadores que se utilizan actualmente son del tipo sintético. Los revestimientos sintéticos generalmente se conocen como revestimientos de membrana flexible, y se clasifican como variedades de plástico, caucho y asfalto.

Un revestimiento sintético (revestimiento de membrana flexible) es por definición una hoja continua de material delgado y flexible como el plástico, caucho, o asfalto, que se utiliza para impermeabilizar una estructura hidráulica como es un confinamiento. Solamente los revestimientos de membrana flexible de plástico y caucho van a tomarse en cuenta en este capítulo debido a que en el presente son los que dominan el campo de los revestimientos. (Hovater, 1989)

6.5.1 Selección de membranas sintéticas

En la selección de una membrana sintética para un lugar de disposición de residuos deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

- Flexibilidad
- Características apropiadas para el uso que se le va a dar
- Compatible químicamente con el material que va a ser contenido
- Impermeable
- No putrecible

-Durable

-Instalación sin dificultad

-Efectividad en costo

Antes de seleccionar una membrana sintética se deben establecer algunas características del lugar de disposición. Entre las más importantes se encuentran:

a. Tamaño y forma. La elección de la forma de una instalación puede minimizar los desperdicios del revestimiento seleccionado. Es más costoso impermeabilizar estructuras de forma irregular que las cuadradas y rectangulares, debido a que la mayoría de los revestimientos están disponibles en forma de placas rectangulares. (Hanover, 1989)

b. Profundidad. Teóricamente, no hay un límite para la profundidad relativa de una membrana flexible. Si la membrana flexible fuera a instalarse en una superficie de soporte adecuada y protegida de las perforaciones que podría causar el material almacenado, se podrían utilizar revestimientos muy delgados. Sin embargo el riesgo es demasiado grande para depender de revestimientos delgados para muchas aplicaciones, incluso cuando se encuentran a poca profundidad, por lo que se utilizan revestimientos que tienen un espesor mayor y que teóricamente son necesarios para detener los líquidos almacenados. Hay una regla que dice: "1 mil (0.025mm) de espesor de revestimiento por cada pie (0.3m) de carga hidráulica". Así para una profundidad de líquido de 6m (20 pies), se utiliza un revestimiento de un espesor de 0.5mm (20mil) como mínimo. En el presente, con los requerimientos de fugas mínimas, y la disponibilidad de revestimientos con mayor espesor, como es el HDPE, se utilizan revestimientos con espesor mayor para minimizar el riesgo. El espesor no siempre es el mejor, sin embargo así se utilizan, ya que algunos revestimientos han fallado debido a que no tuvieron el espesor que era necesario y a que no fueron tan flexibles como lo requerían. (Hanover, 1989)

c. Pendiente. Para la mayoría de las instalaciones se usan pendientes de 3:1 para el descanso de la construcción. Pendientes mayores crean problemas que repercuten en el costo de la instalación de la membrana flexible, debido a que llega a ser difícil de hacer. Generalmente las pendientes planas no son efectivas en costo, debido a los requerimientos adicionales de revestimiento para un mismo volumen, que son consecuencia del estado en que se encuentra el lugar. (Hanover, 1989)

6.5.2 Tipos de revestimientos sintéticos

Actualmente los plásticos y el caucho se utilizan principalmente para contener residuos peligrosos. Los revestimientos de plástico más utilizados son:

- Cloruro de polivinilo (PVC)
- Polietileno de alta densidad (HDPE)
- Polietileno clorinado (CPE)

Los revestimientos de caucho más utilizados son:

- Polietileno clorosulfonado (CSPE)
- Monómero de etilen propilen dieno (EPDM)

Muchos otros revestimientos están disponibles, pero su uso ha sido limitado, principalmente debido a que no son efectivos en costo comparados con los de la lista anterior. Excepto para los HDPE, todas las membranas que se mencionaron arriba están disponibles ya sea provistas o no con un refuerzo en su estructura. (Hanover, 1989)

Los materiales de refuerzo más utilizados son: el nylon, el poliéster, el polipropileno y la fibra de vidrio, los cuales se colocan en forma de tejidos entre las capas del material base. (CETESB, 1985)

6.5.3 Ventajas y desventajas de las membranas sintéticas

Las ventajas más importantes de las membranas sintéticas para la contención de residuos industriales son:

- a. La capacidad de contener una gran variedad de fluidos con una pérdida mínima por percolación.
- b. Alta resistencia a deterioro bacteriano y químico.
- c. Relativa facilidad y economía de instalación y mantenimiento.

Las principales desventajas son relativas a la vulnerabilidad de alguna de ellas al ozono y a los rayos ultra violeta y la limitada resistencia a los esfuerzos de presión y tensión de máquinas pesadas. Además son susceptibles a laceración, abrasión y punción por objetos cortantes, como palas metálicas, piedras y raíces de árboles. Algunos materiales son propensos a quebrarse a temperaturas extremadamente bajas y a dilatarse y deformarse a temperaturas extremadamente altas. La tabla 6.1 presenta las ventajas y desventajas de las membranas sintéticas más utilizadas en el presente.

6.5.4 Descripción de los revestimientos

Los revestimientos se describen generalmente por:

a. El nombre químico aceptado por la industria, que generalmente es un indicativo de su composición -e.g., cloruro de polivinilo (PVC).

b. Sus propiedades físicas. Otros términos descriptivos incluyen el espesor, tamaños y formas.

Los revestimientos que están disponibles se encuentran en un ámbito de espesor de 0.25mm (10 mils) a 2.5mm (100 mils). El uso normal es el siguiente:

- PVC: 0.5 a 0.75 mm (20 a 30 mils)
- HDPE: 1 a 2.5 mm (40 a 100 mils)
- CPE: 0.75 mm (30 mils) sin refuerzo
0.9 a 1.15 mm (36 a 45 mils) reforzado
- CSPE: 0.75 mm (30 mils) sin refuerzo
0.9 a 1.15 mm (36 a 45 mils) reforzado
- EPDM: 1.15 a 1.5 mm (45 a 60 mils)

La mayoría de los revestimientos son rectangulares, las láminas planas pesan un máximo de 1800 kg, pero algunos rollos de HDPE tienen pesos hasta de 4 a 5 toneladas. (Hanover, 1989)

6.6 INSTALACION DE LA MEMBRANA

La instalación de una membrana es tan importante como su selección y debe ser precedida de un detallado proceso de planeación y proyecto de construcción de la infraestructura necesaria.

6.6.1 Superficie de soporte

En la mayoría de las obras en que se colocan membranas, entre más regular es la superficie de la sub-base, de los taludes y del fondo, más fácil y segura será la colocación de las mismas. Las partículas más grandes que se aceptan en el suelo de la sub-base deben presentar diámetros del orden de 2cm; se deben evitar gravas, piedras y raíces. (CETESB, 1985)

TABLA 6.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ALGUNAS MEMBRANAS SINTETICAS

MATERIAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
GOMA DE ETILENO PROPILENO (EPDM)	RESISTENCIA AL OZONO, RADIACION ULTRAVIOLETA, AL ENVEJECIMIENTO A LA ABRASION, A LA RUPTURA Y A LA ABSORCION Y PENETRACION DEL AGUA; TOLERANCIA A TEMPERATURAS EXTREMOSAS. ALTA FLEXIBILIDAD, RESISTENCIA A LAS CONCENTRACIONES DILUIDAS DE ACIDOS, ALCALIS, SILICATOS, FOSFATOS Y SALMUERA.	NO SE RECOMIENDA PARA SOLVENTES DE PETROLEO Y SOLVENTES HALOGENADOS.
CLORURO DE POLIVINILO (PVC)	RESISTENCIA A LA TRACCION, PUNCION, ABSORCION Y RESTIRAMIENTO; BUENA RESISTENCIA A INORGANICOS.	ES ATACADA POR MUCHAS SUSTANCIAS ORGANICAS, ENTRE ELLOS LOS HIDROCARBUROS, SOLVENTES Y ACEITES; NO SE RECOMIENDA LA EXPOSICION A LA INTEMPERIE Y A LA RADIACION ULTRAVIOLETA
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE)	RESISTENCIA A ACEITES Y SOLVENTES; BAJA PERMEABILIDAD A VAPORES DE AGUA Y GASES; RESISTENCIA A LA INTEMPERIE Y A LAS ALTAS TEMPERATURAS	SUFRE RAJADURAS Y PUNCION.
CLORURO DE POLIETILENO (CPE)	RESISTENCIA A LA TRACCION, ESTIRAMIENTO, Y AL OZONO, A LAS INTEMPERIES Y A LA RADIACION ULTRAVIOLETA. RESISTENCIA A INORGANICOS	NO SE RECOMIENDA PARA HIDROCARBUROS AROMATICOS Y ACEITES.
POLIETILENO CLOROSULFONADO (CSPE)	RESISTENCIA AL OZONO, RADIACION ULTRAVIOLETA, INTEMPERIE Y A LAS TEMPERATURAS EXTREMOSAS; RESISTENCIA A ACIDOS Y ALCALIS; RESISTENCIA A LA PUNCION.	BAJA RESISTENCIA A LA TRACCION. BAJA RESISTENCIA A LOS ACEITES.

Fuente: CETESB, 1985

6.6.2 Arreglo

El arreglo de las placas que constituyen la membrana flexible, deben considerarse por el contratista de la instalación. Generalmente las especificaciones del proyecto requieren esquemas que indiquen el tamaño y planes para minimizar las uniones en el campo. Generalmente las uniones horizontales en las pendientes no son una práctica buena, incluso de fábrica; y las uniones transversales en la base de una pendiente deben evitarse. Las uniones en los taludes deben ser paralelas con la pendiente y las uniones transversales del fondo, deben estar de 1 a 1.5m lejos de la base de la pendiente. (Hanover, 1989)

6.6.3 Colocación de las membranas

Las membranas normalmente son almacenadas en rollos y deben de almacenarse en la sombra. Antes de la instalación debe verificarse que las obras previas han sido terminadas. Generalmente se inicia la colocación de la membrana desdoblándola en sentido del ancho de la trinchera, seguidamente se coloca en el lugar correcto, considerando el arreglo de las placas y utilizando sacos de arena para que no se muevan. Posteriormente se efectúan las uniones o soldadura de las membranas, los anclajes y eventualmente la colocación de una capa de protección sobre la membrana. (CETESB, 1985)

6.6.4 Uniones

Las membranas al unirse deberán tener una sobreposición de 10 a 30 cm. Las uniones constituyen un factor crítico en la instalación de las membranas, siendo absolutamente necesario que el fabricante recomiende los procedimientos y sistemas adhesivos que serán usados.

Debe tenerse en cuenta que cuando se realice la unión las partes estarán limpias y secas. Después de la colocación del adhesivo o realizada la unión se torna necesaria la aplicación de una presión sobre la unión, debiéndose tener a la membrana sobre una superficie seca, firme y lisa. Muchas veces se utiliza una tabla debajo de la sobreposición para obtener esta superficie. (CETESB, 1985)

6.6.5 Anclajes

Los anclajes se localizan en el perímetro de una trinchera e incluyen la inserción de los bordes de la membrana flexible en un orificio de anclaje, el cual se rellena con tierra o algunas veces con concreto. (Hanover, 1989)

6.6.6 Cubierta de protección

Normalmente sobre la impermeabilización con membranas se ponen cubiertas de tierra que tienen como objetivo protegerlas contra daños mecánicos y de exposición al tiempo. Generalmente esta capa tiene un espesor del orden de 60cm o más.

Previendo el tráfico de vehículos o de equipos sobre la impermeabilización, será necesaria la ejecución de esta cubierta de protección. (CETESB, 1985)

6.7 SISTEMAS DE CONTROL Y MONITOREO

La protección ambiental a través de un sistema de control y monitoreo, controla las fugas de lixiviados, las emisiones de gases y la contaminación de aguas subterráneas. (Wright, 1989)

El monitoreo ambiental es necesario para asegurar que la integridad de un confinamiento se mantiene, con respecto a la liberación incontrolada de cualquier contaminante al ambiente. (Tchobanoglous, 1993)

6.7.1 Sistemas de captación de lixiviados

Durante la vida activa de un confinamiento, y en menor cantidad, después que se cierran, algo del agua de lluvia que cae se percola a través de los residuos y acarrea constituyentes químicos de éstos. A ese líquido se le llama lixiviado y es específico del sitio y específico de los residuos. Para prevenir la acumulación del lixiviado en el fondo de las instalaciones, se construyen los sistemas de captación de lixiviados. (Bonaparte, 1990)

Generalmente se coloca un sistema doble de impermeabilización en la base y lados de la instalación antes de que se depositen los residuos peligrosos. Este sistema de revestimiento detiene los lixiviados que podrían generarse posteriormente en los residuos depositados y fluir entonces hacia abajo por gravedad. Los lixiviados que se acumulan en el sistema de impermeabilización se envían a una o más centrales de desagüe a través de una serie de tubos de colección de plástico perforados; desde allí el lixiviado puede enviarse a tratamiento y disposición final.

De acuerdo a las regulaciones de la EPA, el revestimiento inferior del sistema doble de impermeabilización puede ser una capa de arcilla recompactada u otro material natural con un espesor mínimo de 0.91m y una permeabilidad de no más de 1×10^{-7} cm/s, o un impermeabilizador de membrana flexible. El revestimiento superior debe ser de membrana flexible, debido a

que las regulaciones de la EPA dictan que no debe haber migración del lixiviado dentro de éste. Vease figura 6.1. (Wright, 1989)

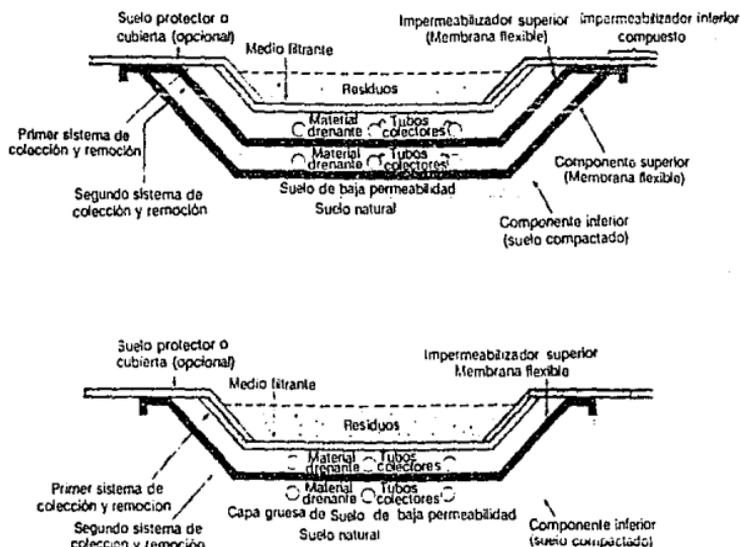


Figura 6.1. Las dos opciones de impermeabilización de la base de confinamientos controlados de acuerdo a la EPA. (a) Membrana flexible y suelo compactado, (b) Capa gruesa de suelo de baja permeabilidad. Fuente: Wright, 1989

6.7.2 Diseño y construcción de sistemas de captación de lixiviados de acuerdo a las normas oficiales mexicanas

a. El sistema debe estar compuesto de colector, subcolector, cárcamo y pozos de monitoreo de lixiviados como mínimo.

b. Todos los subcolectores deben conducir los lixiviados hacia el colector, y éste a su vez descargará en el cárcamo de los pozos de monitoreo de lixiviados.

c. El colector y los subcolectores deben ser de 15 y 10 cm de diámetro como mínimo, respectivamente.

d. Debe existir un sistema de captación de lixiviados por cada $1000m^2$ de celda o fracción de la misma.

e. La pendiente de escurrimiento del colector y subcolectores de lixiviados no debe ser menor del 2% en dirección al cárcamo;

f. Para el desplante del sistema de impermeabilización y del tubo captador del lixiviado previa preparación de la excavación, se conformará el terreno sobre el cual se tenderá una capa de arcilla de 50cm de espesor compactada al 90% de la Prueba Proctor sobre la cual se colocará el sistema de impermeabilización sintético, la cual tendrá que ser protegida con otra capa de arcilla de 5cm de espesor compactada al 90% de la Prueba Proctor donde se colocará el sistema de captación y recolección del lixiviado teniendo que ser empacado con arcilla la parte inferior (no perforada) del tubo captador dejando la parte media superior (perforada) libre de arcilla con un ángulo de 45° la cual será cubierta con grava de $3/4$ de pulgada (19mm) hasta la parte superior de la base de la celda, posteriormente se colocará el material de contacto que cubrirá toda la base de la celda teniendo un espesor mínimo de 12 cm en el tubo captador y con una pendiente del 2% para su drenado. Ver figuras 6.2 y 6.3.

g. El sistema de captación debe ser tal que cada subcolector capte la décima parte del área total servida por el sistema.

h. La velocidad de captación y escurrimiento del sistema debe ser mayor que la velocidad de difusión de las paredes y pisos de la celda. (NOM-CRP-006-ECOL/93)

En cuanto al cárcamo las normas oficiales mexicanas señalan lo siguiente:

a. La capacidad del cárcamo debe calcularse en función de las dimensiones de la celda y de la precipitación pluvial promedio del sitio de confinamiento, así como de la forma en que vayan a depositarse los residuos peligrosos en la celda. En cualquier caso el volumen útil del cárcamo no deberá ser inferior a un metro cúbico.

Un método para obtener el caudal a drenar es el método de balance de agua. Este método toma en cuenta la precipitación de agua sobre el confinamiento, la capacidad de campo, que es la humedad máxima que los suelos o residuos confinados pueden retener sin una percolación continua descendente, la evapotranspiración, que es el agua que toman las plantas del suelo y el escurrimiento superficial, que es función principalmente de la inclinación del terreno. (Vesilind, 1981)

b.El sistema de captación de lixiviados debe contar con dos pozos de monitoreo independientes, uno para captar los lixiviados conducidos por los colectores sobre la membrana y otro para captar los lixiviados que penetren la primera barrera de impermeabilización.

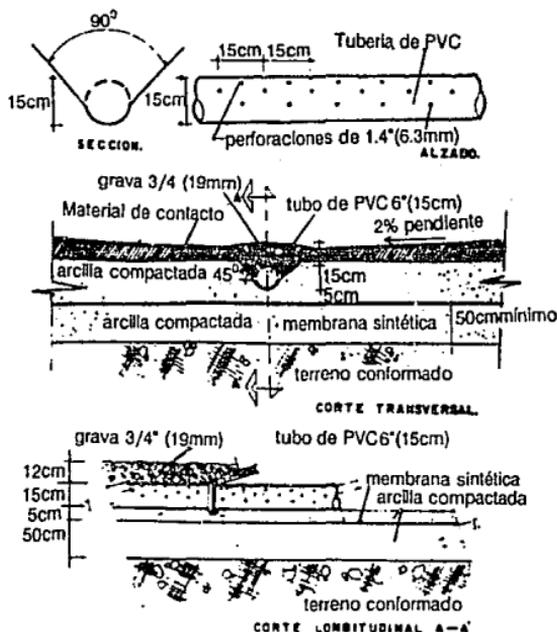


Figura 6.2 Detalles del tubo para captación de lixiviados.
Fuente: NOM-CRP-006-ECOL/93

c.Cada pozo de monitoreo debe estar dotado de un sistema mecánico o eléctrico para la extracción de lixiviados. (NOM-CRP-006-ECOL/93)

Los pozos de monitoreo para lixiviados deberán:

a.Estar ubicados dentro o fuera de la celda de confinamiento, considerando el sentido de las pendientes.

b.Las emanaciones y vapores generados en el pozo de monitoreo deberán ser monitoreados, extraídos analizados y tratados si es el caso; debiendo quedar asentada la información en bitácora.

El número de pozos se determinará por las dimensiones de confinamiento. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

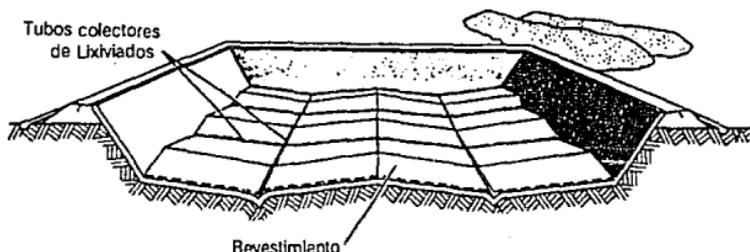


Figura 6.3 Excavación e instalación de un revestimiento en un confinamiento controlado. Fuente: Tchobanoglous, 1993

6.7.3 Sistemas de control y monitoreo de gases

Ya sea que se coloquen residuos orgánicos peligrosos o no en un confinamiento, se puede esperar la producción de gas de confinamiento. Los gases de confinamiento se producen por la descomposición anaeróbica del material orgánico, y consiste principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también puede contener pequeñas cantidades de otros gases orgánicos volátiles como es el cloruro de vinilo.

El gas metano es inodoro y no tóxico; sin embargo la mezcla de gases de confinamiento pueden tener olor en la presencia de otros gases. En presencia de aire, el metano es explosivo en concentraciones entre 5 y 15%, e inflamable si se encuentra a altas concentraciones. Los gases de confinamiento pueden moverse verticalmente y lateralmente a través del suelo bajo un gradiente de presión y se ventean a la atmósfera o se colectan y desfogan.

Los sistemas de venteo atmosférico generalmente consisten de una serie de tubos de colección perforados que se colocan en una capa de grava bajo la capa final; el gas se ventea a la atmósfera por medio de tubos verticales. Alternativamente, puede ser extraído y desfogado si es muy tóxico u odorífero para directa ventilación. Las figuras 6.4 y 6.5 muestran un sistema típico de venteo de gases de confinamiento. (Wright, 1989)

El monitoreo de los gases de un confinamiento sirve para detectar el posible movimiento de contaminantes gaseosos a los alrededores de éste. (Tchobanoglous, 1993)

6.7.4 Diseño y construcción del sistema de venteo de acuerdo a las normas oficiales mexicanas

El diseño y construcción de sistemas de venteo debe sujetarse a los siguientes requisitos:

a. Debe existir un sistema de venteo por cada 300 metros cuadrados de celda o fracción.

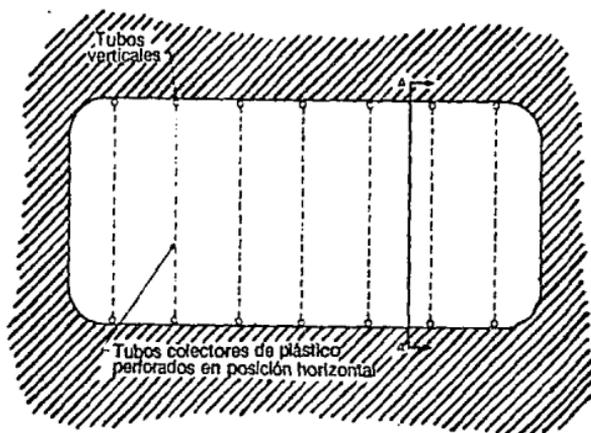


Figura 6.4. Vista de planta de un sistema de venteo de gas de confinamiento. Fuente: Wright, 1989

b. Los conductos de venteo deben tener, como mínimo, 20 cm de diámetro.

c. Los subcolectores de captación de gases deben situarse a una altura máxima de 2 metros de la base.

d. El tubo colector y el primer subcolector debe colocarse a una distancia del fondo de la celda equivalente al 20% de la altura de la misma.

e. Cada subcolector debe cubrir una área equivalente a la sexta parte del área total de la celda.

f. El tubo de venteo debe terminar en cuello de ganso. (NOM-CRP-006-ECOL/93)

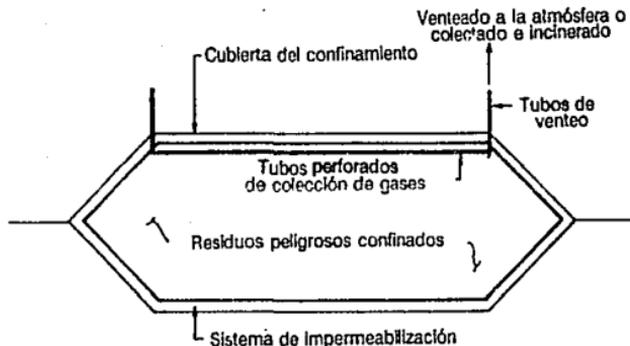


Figura 6.5. Vista transversal de un sistema de venteo de gas de confinamiento. Fuente: Wright, 1989.

6.8 AGUA SUBTERRANEA

A toda el agua que se encuentra bajo la superficie de la tierra se le conoce como agua del subsuelo. Como se muestra en la figura 6.6, el agua del subsuelo se presenta en dos zonas diferentes. A la zona que contiene agua y aire se le llama zona insaturada, y a la zona en la cual los poros que la interconectan están llenos de agua se le llama zona saturada. Esta es la única agua del subsuelo a la que se le llama correctamente agua subterránea.

La zona saturada es más frecuentemente referida como un acuífero. Los acuíferos representan las porciones utilizables del agua subterránea, y son, en efecto, áreas de almacenamiento o depósitos bajo tierra. Cuando una zona saturada, o porción de ésta tiene baja permeabilidad y no provee cantidades significativas de agua a un pozo o manantial, se le llama acuitardo. (Griffin, 1990)

La contaminación química de las aguas subterráneas resulta en un problema para la salud humana y el ambiente. Los contaminantes en concentraciones altas pueden causar náuseas, desmayos, temblores, ceguera, u otros problemas de salud. A bajas concentraciones pueden causar erupciones en la piel o afectar el sistema nervioso central. Los efectos tóxicos más severos que provocan los agentes químicos se relacionan con su capacidad cancerígena, mutagénica y teratogénica. (Wentz, 1989)

6.8.1 Contaminación de las aguas subterráneas

Para entender la contaminación de las aguas subterráneas, primero se debe entender el patrón de flujo de las sustancias químicas en los materiales porosos. La entrada al medio ambiente por debajo de la superficie es única para cada tipo de fuente de contaminación.

Una vez en el flujo de agua subterránea saturada, los contaminantes no se dispersarán a través de todo el acuífero, sino que se moverán conforme al flujo de agua subterránea, produciendo formas irregulares de agua contaminada. A este cuerpo de agua contaminada se le llama pluma, y se extiende de la fuente de contaminación a otros puntos.

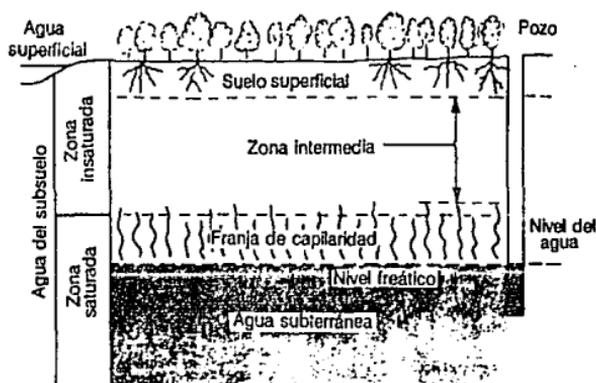


Figura 6.6 Zonas del agua del subsuelo. Fuente: Wentz, 1989.

Cuando una mezcla de contaminantes entra a la zona saturada, cada especie química generalmente viajará a su propia velocidad. Esta situación crea una masa contaminante o nube que se segrega en diferentes zonas, cada una avanzando en la misma dirección, pero a diferentes velocidades. (Griffin 1990)

En todos los casos la amenaza de contaminar las aguas subterráneas dependen de la geología específica del sitio, y la complejidad de las condiciones hidrogeológicas por las cuales se harán predicciones de la extensión de la contaminación de las aguas subterráneas.

6.8.2 Sistema de control y monitoreo de agua subterránea

Un programa de monitoreo de aguas subterráneas se necesita durante la vida activa de la instalación y si es que permanecen residuos peligrosos o productos de descomposición, también durante el período de postterminación.

Los pozos son las herramientas primarias que se utilizan para monitorear la contaminación de las aguas subterráneas. El sistema de monitoreo debe consistir de un arreglo de pozos colocados estratégicamente para identificar el movimiento de las aguas subterráneas. Se recomienda que se coloque un pozo gradiente arriba y por lo menos tres pozos gradiente abajo del confinamiento, para conocer los patrones de flujo de las aguas subterráneas y para penetrar todo el espesor de la zona saturada del acuífero bajo estudio.

Los pozos gradiente arriba se muestrean para determinar los niveles de contaminación antes que el flujo de aguas subterráneas encuentre la pluma, mientras que los pozos gradiente abajo identificarán el movimiento de los contaminantes desde el sitio. La figura 6.7 ilustra un sistema de monitoreo de aguas subterráneas que puede existir en un confinamiento. También ilustra la dispersión de la pluma de lixiviados que se originaron de un confinamiento. (Batstone, Vol II, 1989)

El lugar donde se toman las muestras en un pozo de monitoreo debe ser específico para la profundidad bajo estudio. Es importante que estos pozos de monitoreo se construyan de tal manera que se muestreé solo una capa específica, sin interconexión indeseable con otras capas. (Wentz, 1989)

Para el análisis de las muestras de aguas subterráneas, se deben medir sólo aquellos parámetros utilizados para establecer la calidad de las aguas subterráneas. Esos indicadores simples pueden ser el cloro, hierro, manganeso, fenol, sodio, sulfatos o pH. Si en el monitoreo los parámetros indicadores indican que es probable que haya contaminación o que ya se presenta, se puede iniciar un programa más detallado de muestreo y análisis.

A menos que haya razones para sospechar que hay un cambio rápido en las características, los pozos de monitoreo no necesitan muestrearse más de una vez trimestralmente. Si se presenta un cambio adverso en las características, un monitoreo más frecuente ayuda a verificar su rapidez. (Batstone, Vol III, 1989)

Los pozos de monitoreo para las aguas subterráneas deberán tener las características siguientes:

a. La ubicación de los pozos se definirá por el sentido de circulación de las aguas subterráneas;

b. Los pozos se instalarán fuera del predio del confinamiento, a una distancia entre 50 y 150 m a partir del límite de éste;

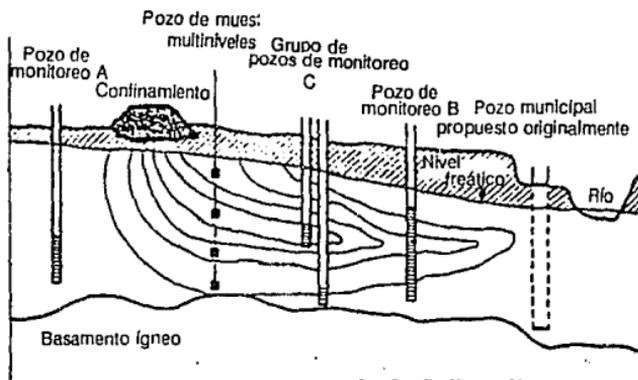


Figura 6.7. Figura de un posible sistema de monitoreo. Fuente: Batstone, Vol III, 1989.

c. La profundidad de los pozos será cuando menos de 10 metros por abajo del nivel dinámico del acuífero o bien, a 150 m.

d. Tener como mínimo un diámetro de 10 cm, y estar ademados en toda su longitud, mediante tubos de acero. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

CAPITULO VII

OPERACION

La operación de un confinamiento controlado es un conjunto de acciones a realizar por el personal de dicha instalación de manera que garanticen la protección a la población y al medio ambiente.

7.1 RECEPCION DE RESIDUOS PELIGROSOS EN CONFINAMIENTOS CONTROLADOS

Para la recepción de residuos en un confinamiento controlado el transportista presentará al destinatario el manifiesto correspondiente en original y una copia debidamente firmados por el generador y el propio transportista.

El destinatario deberá verificar en relación con el manifiesto presentado por el transportista:

a. Que en el formato autorizado por la SEDESOL estén registrados los datos de los rubros indicados en el mismo.

b. Que los residuos especificados en el documento, deben corresponder a los que vayan a ser depositados en el confinamiento controlado de conformidad con la autorización respectiva.

c. Que en forma preliminar, las características físicas, envase, identificación y en general, las especificaciones del residuo, correspondan a las señaladas en el manifiesto.

d. Que el residuo por recibir no contenga trazas de material radiactivo.

En caso de que el volumen de los residuos a depositar no cumpla con alguno de los requisitos mencionados en recepción y pesaje, el destinatario deberá dar aviso de este hecho al generador y notificar a la SEDESOL. (NOM-CRP-007-ECOL/93)

7.1.1 Registros

En la operación de un confinamiento se deberán llevar los siguientes registros:

-Llevar una bitácora de recepción foliada para registrar las entradas y salidas de los residuos, así como de los vehículos para su transporte.

-Llevar un libro de registro de pesaje y talonario foliados para hacer constar el peso de los residuos a depositar.

-Llevar un libro de registro de laboratorio en el que se anoten los resultados del muestreo y el análisis de la verificación de los residuos a depositar.

-Tener un plano general que represente e identifique el proceso de asignación de las áreas y celda del confinamiento.

-Llevar un libro de registro de monitoreo foliado para hacer constar los casos de detección de posibles lixiviados, emisiones de gases y vapores generados en el interior de las celdas de confinamiento, así como de la calidad de las aguas subterráneas. (NOM-CRP-007-ECOL/93)

7.1.2 Pesaje

En cuanto al pesaje de los residuos peligrosos se debe llevar acabo el siguiente procedimiento:

a. Realizar la verificación preliminar del volumen de residuos de que se trate, el destinatario procederá al pesaje de los mismos, para comprobar que la cantidad en peso corresponda a lo señalado en el manifiesto.

b. Una vez realizado el pesaje el destinatario deberá asentar en el libro de registro y en un talonario foliado los datos siguientes:

- Fecha y hora de recepción;
- Características del residuo;
- Número de placas económico del vehículo de transporte;
- Procedencia del residuo;
- Peso bruto, tara y neto en Kgs;
- Número de registro y firma del transportista.

c. En el caso de que el volumen de residuos a depositar cumpla con los requisitos de recepción y pesaje, el destinatario procederá a su registro en la bitácora de recepción foliada, asentando los datos siguientes:

- Fecha y hora de recepción.
- Nombre del generador.
- Características del residuo.
- Procedencia del residuo.
- Cantidad en peso y volumen.
- Número de registro y firma del transportista.
- Observaciones. (NOM-CRP-007-ECOL/93)

7.1.3 Análisis

Para el caso de los análisis de los residuos peligrosos se deberá seguir el siguiente procedimiento:

a. Verificado el cumplimiento de los requisitos de recepción y pesaje de los residuos, el destinatario procederá al muestreo, análisis y clasificación de los mismos.

b. Para llevar a cabo el análisis se tomarán muestras representativas de los residuos que permitan verificar las propiedades físicas y químicas de los mismos.

c. La toma de muestras representativas de los residuos se deberá realizar por el personal técnico del laboratorio, en el área de acceso y espera del confinamiento.

d. El muestreo y manejo de muestras, análisis y clasificación de los residuos debe realizarse por personal técnico con experiencia en el manejo de los mismos.

e. El análisis de las muestras de los residuos según se trate de lodos, sólidos orgánicos e inorgánicos deberá realizarse en el laboratorio del confinamiento controlado, para verificar sus características de acuerdo a la siguiente tabla.

INDICADORES PARA EL ANALISIS DE VERIFICACION DE RESIDUOS EN UN CONFINAMIENTO

INDICADOR	LODOS	SOLIDOS ORGANICOS	SOLIDOS INORGANICOS
pH	X		
Gravedad especifica		X	X
Agua(%)	X	X	X
Aceite	X	X	X
Reactividad al agua		X	X
Inflamabilidad	X	X	X

f. Una vez realizado el muestreo y análisis de verificación de los residuos el responsable del laboratorio anotará, en un libro de registro correspondiente, los datos siguientes:

- Método de muestreo.
- Técnica de laboratorio utilizada.
- Resultados del análisis.

- Fecha.
- Nombre y firma del técnico analista.

g. En caso de que en los análisis de verificación de los residuos se detecte alguna diferencia con lo expresado en el manifiesto, el responsable del confinamiento controlado deberá dar aviso de este hecho al generador y notificar a la SEDESOL.

h. Con base en los resultados obtenidos del análisis de verificación de los residuos, el responsable del laboratorio procederá a la clasificación de los mismos para determinar de acuerdo a su estado físico, presentación, incompatibilidad y peligrosidad, su tratamiento o disposición final. (NOM-CRP-007-ECOL/93)

7.1.4 Tratamiento

Después de realizar el análisis de verificación y clasificación de los residuos, el responsable del confinamiento procederá al tratamiento adecuado, siempre y cuando la instalación cuente con el servicio, o será enviado al lugar donde se lo puedan realizar.

7.2 UBICACION DE LOS RESIDUOS EN LAS CELDAS DE CONFINAMIENTO

Analizados, clasificados y, en su caso, tratados los residuos, el destinatario deberá proceder en forma inmediata a depositarlos en el área y celda.

Para la asignación del área de los residuos, se tomarán en cuenta las características de los mismos, en cuanto a corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad al ambiente, inflamabilidad y si son biológico infecciosos, así como su incompatibilidad y presentación en envase o a granel. De acuerdo con estas características de los residuos, se depositarán según sea el caso, en el área y celdas de confinamiento específicamente destinadas para:

- Residuos con contenido menor al 30% de humedad.
- Lodos estabilizados orgánicos e inorgánicos.
- Sólidos orgánicos o inorgánicos, envasados a granel.
- Residuos reactivos.
- Residuos explosivos.

Previamente a la descarga de los residuos en el área y celdas asignadas, el responsable del confinamiento deberá verificar:

- La correcta ubicación del área y celda de confinamiento asignadas.

-El envasado de los residuos e identificación de los envases y embalajes conforme a las normas oficiales mexicanas aplicables.

-El uso del equipo de protección por el personal que lleva a cabo la descarga de los residuos, y la disponibilidad del equipo de seguridad para la atención a contingencias.

La descarga de los residuos sólidos a granel o envasados en la celda de confinamiento asignada, se deberá realizar con el equipo correspondiente como son tolvas, ductos, montacargas y tubos.

Si se trata de envases, éstos deben ser comprimidos perimetralmente con tierra, así como tener una capa horizontal de separación y compactada al 80% de la Prueba Proctor. (NOM-CRP-007-ECOL/93)

7.3 OPERACION EN EL FRENTE DE TRABAJO

a. Se operará un frente de trabajo para el depósito de residuos peligrosos envasados y otro diferente para el depósito de los residuos a granel. La confluencia de ambos frentes debe estar claramente delimitada. En su caso, estos frentes deben quedar separados.

b. Los residuos peligrosos deben descargarse y colocarse en la celda en forma controlada, sin ser golpeados, arrastrados o arrojados.

c. Los residuos peligrosos envasados deben depositarse por grupos, tomando en cuenta sus características físico-químicas.

d. No podrán depositarse residuos envasados junto con residuos que hubieren sido depositados a granel cuando estos últimos puedan deteriorar los envases.

e. No podrán depositarse residuos envasados en recipientes metálicos junto con aquellos que contengan agua libre en el porcentaje permitido para ser depositados a granel.

f. En el caso de los residuos en las celdas de confinamiento, estará dado hasta alcanzar una compactación mínima del 80% de la Prueba Proctor y cubrirse con tierra después de cada operación.

g. Debe evitarse la operación de celdas en caso de precipitación pluvial.

h. No deberá circular equipo mecánico con peso que exceda de 10 toneladas sobre las celdas de confinamiento controlado que contengan residuos peligrosos envasados.

i. Para contar con un control sobre el llenado de celdas se utilizará un sistema de coordenadas para su ubicación. (NOM-CRP-006-ECOL/93)

j. No deben depositarse residuos peligrosos mientras existan lixiviados en el pozo de monitoreo que capta los lixiviados sobre la membrana. Para efectuar el depósito deben extraerse previamente los lixiviados.

k. Cuando existan lixiviados en el pozo de monitoreo que capta los lixiviados que penetran la primera barrera de impermeabilización, debe suspenderse el depósito de residuos peligrosos en la celda y cerrarla.

l. Cuando existan lixiviados en los pozos de monitoreo deberá determinarse su composición y darle el tratamiento en los términos de la norma oficial mexicana aplicable para que sean dispuestos en la misma celda que los generó.

m. Una vez realizada la disposición final de los residuos en las celdas de confinamiento, el responsable deberá llevar a cabo el monitoreo permanente, en los pozos de monitoreo y sistemas de venteo a que se refieren las normas técnicas ecológicas correspondientes para la detección de los posibles lixiviados y de las emisiones de gases y vapores, generados en el interior de las celdas de confinamiento, así como de la calidad de las aguas subterráneas.

n. Cuando como consecuencia del monitoreo se detecte la existencia de lixiviados, éstos deberán extraerse de los pozos correspondientes para su análisis, tratamiento y posterior confinamiento, de preferencia en la misma celda donde se produjeron o en otra compatible. El responsable del confinamiento controlado deberá adoptar las medidas de corrección procedentes.

ñ. El responsable del confinamiento controlado deberá asentar en el libro de registro de monitoreo foliado, los datos siguientes:

- Fecha de muestreo.
- Celda identificada.
- Características generales de los lixiviados, gases o aguas subterráneas muestreadas.
- Resultados de los análisis.
- Nombre y firma del responsable.

También deberá:

-Vigilar las entradas y salidas de los vehículos que transportan los residuos, del personal, de equipo, de los materiales y de la maquinaria al interior del confinamiento controlado.

-Evitar el paso de personas ajenas a las actividades propias del confinamiento controlado, así como de los animales.

-Controlar el acceso a las zonas restringidas del confinamiento controlado.

o. Los caminos interiores deberán estar disponibles, de acuerdo al avance de las actividades en la operación de las áreas y celdas del confinamiento, conservarse libres de obstrucciones, limpios y en buen estado, con los señalamientos correspondientes.

p. En el caso de que un volumen de residuos no pueda confinarse de inmediato por lluvia, calda no disponible, necesidad de tratamiento, residuos fuera de especificaciones, éste deberá ser enviado al área de almacenamiento temporal, en donde no podrá permanecer por un periodo mayor de 90 días.

q. En el área de almacenamiento temporal no deberán depositarse residuos a granel.

r. El drenaje pluvial deberá mantenerse limpio y en buen estado, de manera que se asegure su correcto funcionamiento.

s. Las aguas residuales del confinamiento controlado deberán ser sometidas a tratamientos físicos, químicos y biológicos, según el grado y tipo de contaminación que presenten, las cuales únicamente podrán ser descargadas en el cuerpo receptor cuando cumplan las disposiciones legales que resulten aplicables.

t. El área de amortiguamiento deberá destinarse a usos pasivos, como son áreas verdes. No está permitido en esta área el estacionamiento de vehículos, descarga de residuos, instalaciones del confinamiento controlado o actividades recreativas.

u. El área de lavado de vehículos será destinada para descontaminar al término de la jornada, maquinaria, equipos y vehículos en contacto con los residuos.

Los materiales y equipos en desuso que hayan estado en contacto con los residuos deberán ser depositados en celdas compatibles dentro del mismo confinamiento controlado.

v. Los señalamientos se instalarán en cantidad suficiente y de manera que permitan la correcta operación del confinamiento controlado.

Los señalamientos que indiquen la ubicación de los equipos e implementos de seguridad para la atención a contingencias, deberán ser colocados en sitios visibles.

w. La iluminación permanecerá encendida durante la noche y cuando las condiciones meteorológicas así lo requieran, de manera que permitan una mejor vigilancia.

x. El área de emergencia se utilizará para recibir en el confinamiento controlado residuos en forma temporal y extraordinaria que provengan de alguna contingencia. En estos casos, el responsable del mismo deberá dar aviso en forma inmediata a la SEDESOL y proceder a su almacenamiento temporal en esta área por un periodo no mayor de tres meses, en tanto se determina el sistema de disposición final procedente.

y. En el confinamiento controlado se deberá contar con un programa de atención a contingencias, desarrollado específicamente para casos de accidentes que pudieran ocurrir en las instalaciones y al realizar cualquiera de las actividades propias de la operación, conforme a lo establecido en la Ley General del Equilibrio Ecológico y su Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos. (NOM-CRP-007-ECOL/93)

7.4 CUBIERTA FINAL

Cuando una celda o un confinamiento, se ha completado, se requiere una cubierta para aislar los residuos del ambiente, y así minimizar la migración de líquidos y la formación de lixiviados. (Bonaparte, 1990)

Esta cubierta final se construye con el fin de:

- a. Tener una permeabilidad igual a la de cualquier sistema de revestimiento de fondos, la cual se coloca para proveer una minimización de migración de líquidos a largo plazo, a través de la superficie de confinamientos cerrados.
- b. Funcionar con mantenimiento mínimo.
- c. Promover el drenado y minimizar la erosión de la cubierta.
- d. Soportar el asentamiento y el hundimiento para que la integridad de la cubierta se mantenga.

Las pendientes de la cubierta superior generalmente se encuentran en un rango de 3 a 5% para fomentar el escurrimiento y soportar algunos asentamientos del confinamiento. (Wright, 1989)

La EPA recomienda que un sistema de cubierta incluya, como se muestra en la figura 8.1, una capa de suelo de baja permeabilidad, una membrana, una capa de desagüe, una capa filtrante, y finalmente una cubierta de vegetación, dando especial atención a las orillas del sistema de cubierta. (Bonaparte, 1990)

Generalmente una cubierta superior de vegetación previene la erosión y fomenta la evapotranspiración; una cubierta de desagüe por debajo de ésta acarrea la percolación fuera; y una membrana flexible impide la infiltración a los residuos. (Bonaparte, 1990)

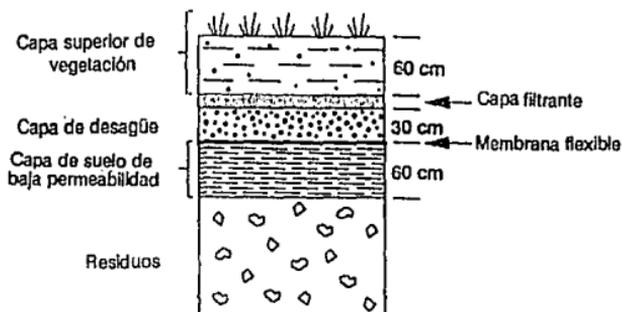


Figura 8.1 Esquema de un sistema de cubierta. Fuente: Bonaparte, 1990

Con respecto a la cubierta final de un confinamiento las normas oficiales mexicanas señalan lo siguiente:

La cubierta de la celda constará de dos capas: la inferior de arcilla, con un espesor, grado de compactación y humedad del material para obtener un coeficiente de permeabilidad 1×10^{-7} cm/seg; o con un material sintético equivalente en su permeabilidad; la capa superior de suelo vegetal de 40cm de espesor. En el caso de celdas que contengan residuos susceptibles de generar gases o vapores, además de las capas mencionadas, deberá considerarse una capa subyacente de grava, con un espesor mínimo de 25cm. (NOM-CRP-006-ECOL/93)

Las celdas de confinamiento cuya capacidad ha sido alcanzada deberán cubrirse y contar en la parte superior con una placa de identificación resistente a la intemperie, en la que se asienten los datos siguientes: clave de celda, nombre de los generadores y fechas de inicio de operación y cierre de la celda. El área y las celdas de confinamiento deberán estar identificadas en el plano general. (NOM-CRP-007-ECOL/93)

Una vez cerrada la celda de confinamiento:

Se tomarán las medidas necesarias para evitar la erosión de los materiales en el terraplén y taludes, para que los residuos no queden al descubierto. (NOM-CRP-007-ECOL/93)

El control de la erosión se logra con la colocación de un jardín sobre el confinamiento cerrado, y generalmente se selecciona en base a los siguientes criterios:

- Grado de tolerancia a las condiciones adversas del suelo (por ejemplo las concentraciones de gases de confinamiento en los intersticios del suelo).
- Profundidad de la zona de raíces.
- Cantidad de agua que se requiere para mantener el crecimiento de plantas.
- Configuración final del relleno.
- Capacidad para controlar la erosión.

Para controlar la erosión, el nivel final de la superficie del relleno debe ser mantenido relativamente plano manteniendo un buen drenado. Las pendientes típicas están en un rango de 3 $\frac{1}{2}$ mínimo a un máximo de 3:1. Generalmente se utiliza una mezcla de hierbas y legumbres adaptadas al suelo local y condiciones climatológicas, plantadas en combinaciones de dos o tres especies. Se aconseja una consulta con los horticulturistas que están familiarizados con las condiciones locales. El sitio es irrigado generalmente solo para establecer la vegetación, excepto donde hay insuficiente precipitación para mantener la vegetación una vez que se ha establecido.

Las vegetación con raíces profundas normalmente no se planta sobre áreas de confinamiento, a menos que haya una capa superficial de suelo suficiente para asegurar que la capa impermeable no se destruye por el sistema de raíces. (Wright, 1989)

7.5 POSTERMINACION

Después de cerrar finalmente una instalación de disposición, el mantenimiento que sigue a la postterminación, y las actividades de monitoreo se conducen durante todo el periodo de postterminación de cuidado:

-Desarrollar una rutina final de mantenimiento de cubierta. La integridad y efectividad de la cubierta final se mantiene regularmente por el llenado y renivelado de depresiones en la cubierta y en la superficie tanto como sea necesario para corregir los efectos adversos como el asentamiento, hundimiento, erosión, o amadrigamiento de animales.

-Prevenir infiltraciones de agua de lluvia, que son consecuencia de la erosión u otros daños a la cubierta final.

-Mantener las instalaciones de monitoreo ambiental.

-Obtener muestras de las instalaciones de monitoreo y analizarlas.

El monitoreo de postterminación, durante los primeros 12 a 18 meses generalmente incluirá inspecciones y muestreos en el sitio relativamente frecuentes (por ejemplo una vez por mes). Generalmente las frecuencias de monitoreo pueden reducirse si no se encuentran problemas durante ese tiempo. (Wright, 1989)

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo al trabajo realizado se puede concluir lo siguiente:

a.No existe un diseño universal para confinamientos controlados debido a que las características de cada sitio y de cada residuo son diferentes.

b.Los confinamientos controlados no afectan el ambiente si después que la operación cesa, se mantienen y monitorean apropiadamente.

c.Las Normas Oficiales Mexicanas sobre disposición final son menos estrictas que las de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América. Un ejemplo claro de lo anterior es que las normas oficiales mexicanas requieren un sistema simple de impermeabilización de la base, mientras que la EPA requiere un sistema doble.

d. Las normas oficiales mexicanas no definen con claridad las especificaciones técnicas con respecto a los sistemas de monitoreo.

e Los residuos peligrosos que se generan en la industria, se deben tratar y posteriormente disponer correctamente, ya que de no ser así, irán a dar a tiraderos clandestinos.

f.En México no existen suficientes confinamientos controlados para disponer los residuos peligrosos que se generan.

De acuerdo a las conclusiones presentadas se recomienda lo siguiente:

a. Que se impartan cursos por parte de las universidades en lo referente al diseño, construcción y operación de los confinamientos controlados.

b. Que una vez que las autoridades aprueben la construcción de confinamientos controlados, asignen personal cuya tarea sea el vigilar que el diseño, construcción y operación cumplan con la Ley y normas al respecto.

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

CPE	Poliétileno clorado.
CSPE	Poliétileno clorosulfonado.
CETESB	Companhia de tecnologia de saneamento industrial.
EPA	Agencia de protecci3n Ambiental de los Estados Unidos de Am6rica.
EPDM	Mon3mero de etilen propilendieno.
HDPE	Poliétileno de alta densidad.
L.SEDESOL, 1988	Ley general del equilibrio ecol3gico y la protecci3n al ambiente.
PCB's	Bifenilos policlorados.
PVC	Cloruro de polivinilo.
R.SEDESOL, 1988	Reglamento de la ley general del equilibrio ecol3gico y la protecci3n al ambiente en materia de residuos peligrosos.
SEDESOL	Secretaria de desarrollo social.

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

- Figura 1.1 Manejo de residuos peligrosos.
- Figura 2.1 Diagrama de flujo para la identificación de residuos peligrosos.
- Figura 3.1 Esquema de un pozo de inyección profunda para residuos peligrosos.
- Figura 3.2 Esquema de la sección transversal de un confinamiento controlado.
- Figura 3.3 Esquema de la sección transversal de un confinamiento terminado y cerrado.
- Figura 6.2 Detalles del tubo para captación de lixiviados.
- Figura 6.3 Excavación e instalación de un revestimiento en confinamientos controlados.
- Figura 6.5 Vista transversal de un sistema de venteo de gas de confinamiento.
- Figura 6.6 Zonas de agua del subsuelo.
- Figura 6.7 Figura de un posible sistema de monitoreo.
- Figura 8.1 Esquema de un sistema de cubierta.
- Tabla 6.1 Ventajas y desventajas de algunas membranas sintéticas.

GLOSARIO DE TERMINOS

ALMACENAMIENTO. Acción de retener temporalmente residuos en tanto se procesan para su aprovechamiento, se entregan al servicio de recolección, o se dispone de ellos. (R. SEDESOL, 1988)

CELDA DE CONFINAMIENTO. El espacio creado artificialmente dentro de un confinamiento controlado para la disposición final de residuos peligrosos. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

CLIMA. El conjunto de condiciones atmosféricas de un lugar determinado, constituido por factores físicos y geográficos. (NOM-CRP-004-ECOL/93)

CONFINAMIENTO CONTROLADO. Obra de ingeniería para la disposición final de residuos peligrosos, que garantice su aislamiento definitivo. (R. SEDESOL, 1988)

CONFINAMIENTO EN FORMACIONES GEOLOGICAS ESTABLES. Obra de ingeniería para la disposición final de residuos peligrosos en estructuras naturales impermeables, que garanticen su aislamiento definitivo. (R. SEDESOL, 1988)

CONTAMINACION. La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico. (L. SEDESOL, 1988)

CONTAMINANTE. Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural. (L. SEDESOL, 1988)

CONTENEDOR. Caja o cilindro móvil, en el que se depositan para su transporte residuos peligrosos. (R. SEDESOL, 1988)

CUBIERTA. El material o materiales que se colocan en forma de capas en la parte superior de la celda, para aislar los residuos peligrosos de la intemperie. (NOM-CRP-006-ECOL/93)

CRETIB. El código de clasificación de las características que contienen los residuos peligrosos y que significan: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológico infeccioso. (NOM-CRP-001-ECOL/93)

DISPOSICION FINAL. Acción de depositar permanentemente los residuos en sitios y condiciones adecuadas para evitar daños al ambiente. (R. SEDESOL, 1988)

ENVASADO. Acción de introducir un residuo peligroso en un recipiente, para evitar su dispersión o evaporación, así como facilitar su manejo. (R. SEDESOL, 1988)

ESTABILIZAR. Proceso físico, químico o biológico que al ser aplicado a un residuo, se logra la inactivación de éste. (NOM-CRP-006-ECOL/93)

GENERADOR. Persona física o moral que como resultado de sus actividades produzca residuos peligrosos. (R. SEDESOL, 1988)

GEOHIDROLOGIA. El estudio del comportamiento de las aguas subterráneas bajo el contexto del marco geológico que las contiene, en la cercanía del sitio destinado al confinamiento. (NOM-CRP-004-ECOL/93)

HIDROLOGIA SUPERFICIAL. El estudio del comportamiento de las aguas superficiales de la cuenca hidrográfica donde se ubique el sitio destinado al confinamiento. (NOM-CRP-004-ECOL/93)

INCINERACION. Método de tratamiento que consiste en la oxidación de los residuos vía combustión controlada. (R. SEDESOL, 1988)

JALES. Residuos generados en las operaciones primarias de separación y concentración de minerales. (R. SEDESOL, 1988)

LIXIVIADO. Líquido proveniente de los residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene, disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos. (R. SEDESOL, 1988)

LODO. La mezcla de líquido y sólido que va en proporciones normales de 3 a 7% en peso de sólido y el resto de agua u otro líquido. (NOM-CRP-007-ECOL/93)

MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS. se entiende por manejo el conjunto de operaciones que incluyen el almacenamiento, recolección, transporte, alojamiento, reúso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final de los residuos peligrosos. (R. SEDESOL, 1988)

OBRAS COMPLEMENTARIAS. El conjunto de obras de apoyo necesarias para llevar a cabo la correcta operación del confinamiento controlado. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

PRESA DE JALES. Obra de ingeniería para el almacenamiento o disposición final de jales. (R. SEDESOL, 1988)

PROCESO. El conjunto de actividades físicas o químicas relativas a la producción, obtención, acondicionamiento, envasado, manejo y embalado de productos intermedios o finales. (NOM-CRP-001-ECOL/93)

RECOLECCION. Acción de transferir los residuos al equipo destinado a conducirlos a las instalaciones de almacenamiento, tratamiento o reúso, o a los sitios para su disposición final. (R. SEDESOL, 1988)

RESIDUO INCOMPATIBLE. Aquel que al entrar en contacto o ser mezclado con otro reacciona produciendo calor o presión, fuego o evaporación; o, partículas, gases o vapores peligrosos; pudiendo ser esta reacción violenta. (R. SEDESOL, 1988)

RESIDUOS PELIGROSOS. Todos aquellos residuos en cualquier estado físico que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas infecciosas o irritantes representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente. (L. SEDESOL, 1988)

REUSO. Proceso de utilización de los residuos peligrosos que ya hayan sido tratados y que se aplicarán a un nuevo proceso de transformación o de cualquier otro. (R. SEDESOL, 1988)

SISMICIDAD. El grado de frecuencia y de intensidad de los fenómenos sísmicos que pueden tener lugar en el sitio destinado al confinamiento. (NOM-CRP-004-ECOL/93)

TOPOGRAFIA. Las características de configuración de la superficie que presenta el área del sitio destinado a confinamiento. (NOM-CRP-004-ECOL/93)

TRATAMIENTO. Acción de transformar los residuos, por medio del cual se cambian sus características. (R. SEDESOL, 1988)

ZONAS RESTRINGIDAS. Las áreas del confinamiento controlado que requieran de equipo de protección personal, conocimiento del riesgo y entrenamiento preciso para permanecer en ellas. (NOM-CRP-005-ECOL/93)

BIBLIOGRAFIA

1. Batstone Roger, James E. Smith, Jr., and David Wilson, "The Safe Disposal of Hazardous Wastes, The special Needs and problems of Developing Countries", World Bank Technical Paper Number 93, Vol I, Washington, 1989, pp.11-24.
2. Batstone Roger, James E. Smith, Jr., and David Wilson, "The Safe Disposal of Hazardous Wastes, The special Needs and Problems of Developing Countries", World Bank Technical Paper Number 93, Vol II, Washington, 1989, pp.551-570.
3. Batstone Roger, James E. Smith, Jr., and David Wilson, "The Safe Disposal of Hazardous Wastes, The special Needs and Problems of Developing Countries", World Bank Technical Paper Number 93, Vol III, Washington, 1989, pp.649-651.
4. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, "Resíduos Sólidos Industriais," Sao Paulo, 1985, pp.50-97.
5. Griffin Roger D, "Principles of Hazardous Material Management," Michigan, 1990, pp.65-71.
6. Hovater Luis R, "Synthetic Linings," Section 10.2 in Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal, Freeman, Harry M., New York, 1989, pp.10.3-10.2.3.
7. Landreth Robert E, "Landfill Containment Systems Regulations," in Waste Containment Systems Construction, Regulation and Performance, Bonaparte Rudolph, California, 1990, pp.1-11.
8. Lindgren G.F., "Managing Industrial Hazardous Wastes," Michigan, 1990, pp.281-285
9. Manahan Stanley E., "Hazardous Waste Chemistry Toxicology and Treatment," USA, 1990, pp.351-353
10. SEDESOL, "Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos". México, D.F., 1988.
11. SEDESOL, "Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos. México D.F., 1988.

12. SEDESOL, Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-001-ECOL/1993, "Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente". 22 de octubre de 1993.
13. SEDESOL, Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-004-ECOL/1993, "Que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto de los radiactivos". 22 de octubre de 1993.
14. SEDESOL, Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-005-ECOL/1993, "Que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos". 22 de octubre de 1993.
15. SEDESOL, Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-006-ECOL/1993, "Que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos". 22 de octubre de 1993.
16. SEDESOL, Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-007-ECOL/1993, que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos. 22 de octubre de 1993.
17. Tchobanoglous G., "Integrated Solid Waste Management", California, 1993, pp.460-464.
18. Vesilind P.A., "Unit Operations in Resource Recovery Engineering," New Jersey, 1981, pp.415-417.
19. Wentz Charles A., "Hazardous Waste Management," USA, 1989, pp.269-285
20. Wright, Thomas D., David E. Ross, and Lori Tagawa, "Hazardous Waste Landfill Construction: The State of the Art," in Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal, Freeman, Harry M., New York, 1989, pp.10.3-10.23

APENDICE 1

DIAGRAMA DE CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS

GRUPOS DE RESIDUO POR	AGRICULTURA	EXTRACCION	GENERACION	MANUFACTURA	MANUFACTURA	INDUSTRIAS	BENEFICIO	INDUSTRIA	MANUFACTURA	SERVICIOS	SERVICIOS
GIRO INDUSTRIAL	SIVICULTURA	MINERAL	DE ENERGIA	DE METALES	DE NO METALES	QUIMICAS Y	DE METALES	TEXTIL, CUR-	DEL PAPEL,	HOSPITALA-	PERSONALES
	Y PRODUCCION				PRODUCTOS	AFINES	INGENIERIA Y	TIDURIA Y DE	IMPRESA Y	RIOS Y DE	COMERCIALES
	ALIMENTICIA				MINERALES		ALOMOTRIZ	CONSTRUCCION	PUBLICIDAD	SALUD	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L
I RESIDUOS INORGANICOS											
Acidos y sales	X		X	X		X	X	X	X		
Residuos de slates				X							
Lodos y soluciones org.											
Residuos pesados				X	X	X	X	X			
Residuos de asbestos					X	X					
Residuos oxidicos s.s.o.				X		X	X				
II RESIDUOS ACTIVOS								X			
III RESIDUOS ORGANICOS											
Solventes halogenados											
Alcoholes						X	X	X			
Residuos de asbestos no halogenados	X					X	X	X			
Residuos de PVC						X	X				
Residuos de plastico y resinas						X	X	X	X		
Residuos de boratos	X				X	X	X	X	X		
Residuos de compuestos orgánicos orgánicos			X	X		X					
IV RESIDUOS ORGANICOS PUTRESCIBLES	X					X					
V RESIDUOS PELIGROSOS GRAN VOLUMEN		X	X			X					
VI RESIDUOS DIVERSOS											
Residuos infecciosos	X									X	
Residuos de laborator.										X	
Residuos explosivos						X	X				X

Fuente: Batstone, Vol I, 1989

APENDICE 2

GRUPOS INDUSTRIALES

A Agricultura, Silvicultura y Producción alimenticia.

- Agricultura, manejo de floresta y pesca;
- Productos animales y vegetales del sector alimenticio;
- Manufactura de alimentos para animales.

B Extracción mineral (excluyendo hidrocarburos).

- Minería y explotación de canteras de minerales no metálicos;
- Minería y explotación de canteras de minerales metálicos.

C Energía.

- Industria del carbón, incluyendo extracción mineral, fábrica de gas y coqueo;
- Industria del petróleo y gas incluyendo extracción de gas y productos refinados.

D Manufactura de metales.

- Metalurgia ferrosa;
- Metalurgia no ferrosa;
- Fundición y operaciones de explotación de metales.

E Manufactura de productos minerales no metálicos.

- Materiales de construcción cerámica y vidrios;
- Refinamiento de sal;
- Beneficios de asbestos;
- Productos abrasivos.

F Industrias químicas y afines.

- Petroquímicas;
- Producción de compuestos químicos primarios;
- Producción de tintas, barnices, pinturas y pegamentos;
- Fabricación de productos fotográficos;
- Industria del perfume y fabricantes de jabones y detergentes;
- Hule terminado y materiales plásticos;
- Producción de pólvora y explosivos;
- Producción de biocidas.

G Beneficio de metales, industrias automotrices y de ingeniería.

- Ingeniería mecánica;
- Manufactura de maquinaria y procesamiento de resultados de equipo
- Ingeniería eléctrica y electrónica;
- Manufactura de vehículos automotrices y partes;
- Ingeniería de instrumentación.

H Industria textil, de piel y de madera.

- Industria textil, ropa y calzado;
- Industria de cuero y piel;
- Industria de madera y equipo mobiliario;
- Otras industrias de manufactura de compuestos no metálicos.

J Manufactura de papel, imprenta y publicación.

- Papel e industria de cartón;
- Imprenta publicación y laboratorios fotográficos.

K Servicios hospitalarios, sanitarios y de salud.

-Salud, hospitales, centros médicos y laboratorios;
-Servicios veterinarios.

L Servicios comerciales y personales.

-Lavanderías, limpieza en seco y tintorerías;
-Servicios domésticos;

Fuente: Batstone, Vol I, 1989