

4
20

01146

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE
RELLENOS SANITARIOS MUNICIPALES**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA
(CONSTRUCCIÓN)**

PRESENTA :

LONIZA SÁNCHEZ, ADALBERTO EFRAÍN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

DEDICATORIAS:

A mis padres, Adalberto y Bertha Elena,
como un testimonio más de mi cariño, -
respeto y gratitud infinitos por todo lo -
que me han legado; por haberme dado -
el mejor consejo y procurarme la mayor
de las herencias:
su ejemplo y mi educación.

A mis hermanos, Fredy Alán, Laura Elena
y Leilany Itzel, porque juntos alcancemos
la cúspide y por su cariño y aliento constante.

A mamá "Mayi" y su familia, por sus consejos
y amistad en momentos difíciles.

AGRADECIMIENTOS:

Al M. en I. Jaime A. Martínez Mier, por su amable guía y su invaluable tiempo en la elaboración de esta tesis.

Al Ing. Fernando Favela Lozoya, Ing. Salvador Díaz Díaz, Ing. Alfonso M. Elizondo Ramirez, Dr. J. Abraham Díaz Rodríguez, sinodales de esta tesis.

A mis maestros, con mi reconocimiento más profundo por sus enseñanzas.

Al Ing. Salvador Araujo Félix y su apreciable familia, por su apoyo y aliento para continuar preparándome en mis estudios profesionales.

Sería difícil nombrar a todas las personas, entre familiares, compañeros y amigos, que han contribuido al desarrollo de esta tesis. A todos ellos:

¡ Mil gracias !

ÍNDICE

	Hoja.
CAPÍTULO 1:	
INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO 2:	
ANTECEDENTES.	3
2.1 Cantidades de desperdicio.	5
2.2 Cantidad y composición de desperdicios.	6
2.3 Interés ambiental.	6
2.4 Manejo integrado de desperdicios.	8
CAPÍTULO 3:	
ESTUDIOS.	11
3.1 Estudios preliminares.	11
3.1.1 Cálculo de población.	11
3.1.1.1 Método aritmético.	13
3.1.1.2 Método geométrico.	14
3.1.1.3 Método de extensión gráfica.	16
3.1.2 Estudios de generación de residuos sólidos.	17
3.1.2.1 Generación per-cápita.	18
3.1.3 Selección del sitio.	19
3.1.3.1 Búsqueda.	20
3.1.4 Criterios de campo para evaluar sitios.	22
3.2 Estudios específicos.	24
3.2.1 Geotecnia.	24
3.2.1.1 Muestreo.	26
3.2.1.2 Ensayes de laboratorio.	26
3.2.1.3 Permeabilidad.	29
3.2.1.4 Asentamientos.	31
3.2.1.5 Taludes.	31
3.2.2 Estudio geohidrológico.	31
3.2.3 Levantamiento topográfico.	32
CAPÍTULO 4:	
DISEÑO.	36
4.1 Reglamentación ambiental.	36
4.2 Factores para diseño.	38
4.2.1 Tipo de terreno.	38
4.2.2 Procedimiento constructivo.	38
4.2.2.1 Método de área.	39
4.2.2.2 Método de trinchera.	40
4.2.2.3 Método combinado.	41
4.3 Información del sitio.	41
4.4 Sistema de control de lixiviados.	43
4.5 Celdas.	44

	Hoja.
4.6 Diseño de la celda diaria.	46
4.7 Diseño de franjas.	50
4.8 Diseño de capas.	51
4.9 Material de cubierta.	52
4.10 Área requerida.	55
4.11 Vida útil.	57
CAPÍTULO 5:	
CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN.	64
5.1 Requerimientos de compactación.	65
5.2 Suelo ideal para el sitio.	66
5.2.1 Construcción de la sub-base.	67
5.2.2 Construcción de capas.	67
5.2.2.1 Construcción de capas con arcilla y suelo-bentonita.	67
5.2.2.2 Construcción de capas con membrana sintética.	68
5.2.2.3 Construcción de mantos de drenaje con arena.	69
5.2.3 Método constructivo de celdas.	71
5.3 Equipo para rellenos.	72
5.3.1 Uso del equipo.	72
5.3.2 Mantenimiento.	76
5.4 Requerimientos de personal para supervisión y control.	77
5.4.1 Contratación y entrenamiento.	78
5.4.2 Prevención de accidentes.	78
5.5 Control de calidad y bitácora.	79
5.6 Control de basura e incendios.	80
5.7 Control de polvo.	80
5.8 Mantenimiento a caminos de acceso.	81
5.9 Control del gas.	81
5.9.1 Sistemas de control del gas.	82
5.9.1.1 Sistemas pasivos.	82
5.9.1.2 Sistemas activos.	82
5.9.2 Detalles de construcción.	83
5.9.2.1 Método permeable.	83
5.9.2.2 Método impermeable.	84
5.9.2.3 Estructuras para captación y control.	85
5.9.3 Manejo del gas recolectado.	85
5.10 Factores de generación de lixiviados.	85
5.10.1 Control de lixiviados.	86
5.10.2 Pozos de monitoreo.	87
5.11 Infraestructura para supervisión y control.	87
CAPÍTULO 6:	
CIERRE Y MONITOREO.	92
6.1 Cierre.	92
6.1.1 Características del sitio.	92
6.1.2 Procedimientos para el cierre.	93
6.1.3 Construyendo sobre un relleno.	95

	Hoja.
6.2 Monitoreo.	96
6.2.1 Mantenimiento y conservación de la capa final.	99
CAPÍTULO 7:	
ANÁLISIS ECONÓMICO.	101
7.1 El proyecto como centro de inversión.	101
7.1.1 Valor del dinero en el tiempo.	101
7.1.1.1 Interés simple.	102
7.1.1.2 Interés compuesto.	102
7.2 Criterios de participación en un proyecto.	102
7.2.1 Comparación de inversiones.	103
7.3 Campo de aplicación.	104
7.4 Contenido.	104
7.5 Análisis de costos.	105
7.5.1 Erogaciones por servicios públicos.	106
7.5.2 Erogaciones por mano de obra.	107
7.5.3 Costos por maquinaria.	107
7.5.4 Costos de insumos auxiliares.	109
7.5.5 Muebles y enseres para oficina.	110
7.5.6 Costos por obra civil.	110
7.5.7 Resumen.	111
CAPÍTULO 8:	
CONCLUSIONES.	117
CAPÍTULO 9:	
BIBLIOGRAFÍA.	122
CAPÍTULO 10:	
ANEXOS.	125
10.1 Terminología.	126
10.2 Normas Mexicanas sobre Residuos Sólidos.	129
10.3 Proyectos de Norma Oficial Mexicana sobre Rellenos Sanitarios.	149
10.4 Normatividad de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA); Title 40, Subchapter I, Part 258.	161

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.

1. INTRODUCCIÓN

El manejo de grandes cantidades de desperdicios que produce la sociedad actual se ha convertido en un importante reto para el gobierno. Las incorrectas prácticas de disposición usadas en el pasado han causado el deterioro ambiental, la implementación de costosas acciones de reparación, y la oposición de la población para la localización de nuevas instalaciones.

Los residuos sólidos se han depositado sin control en el ambiente, en terrenos abandonados o márgenes de caminos, ríos y carreteras; aunque parte se ha incinerado o enterrado, algunos residuos se usan para alimentar animales.

Como consecuencia de ese inadecuado manejo de residuos, se han tenido que enfrentar serios problemas de contaminación de agua, suelo y aire, así como el incremento de infecciones transmitidas por organismos biológicos que se desarrollan en los lugares donde se almacenan o depositan aquellos sin ningún control.

A partir de los años cuarenta, en nuestro País se incrementa substancialmente la generación de residuos sólidos y las características de éstos se ven alteradas como resultado del desarrollo tecnológico y de la explosión demográfica.

Ante estos cambios y a la persistencia de prácticas tradicionales de disposición de los residuos, aparecen grandes "basureros a cielo abierto", sin ningún control, y que constituyen un foco grave de contaminación, así como un medio adecuado para el desarrollo de fauna nociva que afecta la salud de la población, sin olvidar el deterioro de la imagen del lugar.

Hasta hace algunos años, el manejo de desperdicios era un asunto local. Actualmente, tanto el gobierno federal como los estatales comienzan a imponer reglamentos estrictos sobre el diseño y operación de las instalaciones que manejan desperdicios.

Desafortunadamente, la problemática de la disposición final de los residuos sólidos antes descrita se realiza en un alto porcentaje en nuestro País, y se estima que actualmente casi el 84% son depositados en tiraderos a cielo abierto, y sólo el resto se maneja por medio de rellenos sanitarios, desconociéndose hasta que punto cumplen con las exigencias y medidas de seguridad que demanda este método de ingeniería.

Aunque existen otros métodos de manejo de desperdicios, incluyendo el reciclaje, el composteo, y la incineración, que están siendo instituidos por muchas comunidades en Estados Unidos, el acceso a un relleno continúa siendo necesario.

En esta tesis se presentarán tópicos relacionados con el diseño, planeación, operación, y cierre de rellenos sanitarios municipales.

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES.

2. ANTECEDENTES

Actualmente en México se generan aproximadamente 700 t/día de residuos sólidos, es decir, el 0.28% y el 0.12% de lo que se genera en América Latina y en Estados Unidos respectivamente, los cuales deben recolectarse, transferirse, tratarse y disponerse sanitariamente. En la Tabla 1 se muestran los componentes de residuos sólidos domésticos generados en las principales ciudades de México.

Tabla 1: Componentes de los residuos sólidos domésticos generados en las principales ciudades.

PRODUCTOS	Distrito Federal %	Guadalajara %
Algodón		0.08
Cartón	3.27	1.67
Cuero	0.33	0.35
Cartón encerado	1.11	1.81
Fibra dura		0.14
Fibra sintética		0.07
Hueso	1.54	0.48
Hule	0.28	1.48
Jardinería	1.09	1.12
Lata	1.66	1.64
Loza y cerámica	2.63	0.84
Madera	0.45	0.36
Materiales para construcción		0.18
Material ferroso	0.73	0.36
Material no ferroso	0.24	0.29
Papel	12.60	15.65
Pañal desechable	3.00	2.75
Plástico de película	3.33	4.11
Plástico rígido	1.50	1.73
Poliétileno		0.27
Poliuretano		0.30
Residuos alimenticios	51.64	52.48
Residuos finos	3.19	2.20
Trapos	2.28	1.64
Vidrios	5.36	8.00
Otros	3.74	
TOTAL :	100	100

Tomada de la Ref. 1

El relleno sanitario es el método de ingeniería recomendado para la disposición final de los residuos sólidos municipales, los cuales se depositan en el suelo, se esparcen y se compactan al menor volumen práctico posible y se cubren con una capa de tierra al término de las operaciones del día.

La Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles, ASCE, define al Relleno Sanitario como una técnica para la disposición de la basura en el suelo sin causar perjuicios al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública; este método utiliza principios de ingeniería para confiar la basura en la menor área posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable y cubriendo la basura así depositada con una capa de tierra con la frecuencia necesaria o por lo menos al fin de cada jornada.

Los residuos son generados por una amplia variedad de fuentes productoras, destacándose: las de casas-habitación, comercios, industrias, hospitales, mercados, centros de servicio, laboratorios, centros de reuniones, y oficinas, con gran diversidad de residuos tanto por sus características físicas como fisico-químicas, que cada vez se van haciendo más complejos y difíciles de tratar y disponer en forma adecuada conforme pasa el tiempo, y nuevos productos van surgiendo.

Como ejemplo de la composición de desperdicios sólidos municipales, en la Fig. 1 (Ref. 2) se presenta la obtenida por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) en 1993, para ese país.



Fig. 1. Generación total de desperdicios en E.U., 1993

En la actualidad en México se generan entre 0.3 y 0.6 kg/hab-día en casas-habitación, llegando a alcanzar 1.0 kg/hab-día en algunas ciudades. Considerando las otras fuentes de generación mencionadas anteriormente, el promedio de producción de residuos sólidos, es del orden de 1.0 a 1.2 kg/hab-día, el cual se incrementa tanto por el crecimiento de la población como por el aumento de la generación de basura de los habitantes, por cambios de costumbres y hábitos.

El almacenamiento de los residuos se realiza en forma inadecuada en la mayoría de sus fuentes de generación, con algunas excepciones en ciertos establecimientos de servicios como son los hoteles. Este almacenamiento se realiza en recipientes diversos tanto en tamaño como en forma y material de fabricación, provocando problemas como: retrasos en la recolección, accidentes a los operadores del servicio, repercutiendo en baja eficiencia de recolección e incremento en los costos del servicio.

Desde el punto de vista técnico, el problema es también de consideración, ya que el establecimiento de rutas, rendimientos, frecuencia y horarios adecuados, personal capacitado, mantenimiento de equipos y de todos los aspectos que deben constituir el diseño del sistema, casi no se utilizan.

En lo que a disposición final se refiere, del porcentaje que se recolecta, sólo un 25% se dispone adecuadamente en rellenos sanitarios, otro 25% en rellenos controlados o semicontrolados y el resto en basureros a cielo abierto. En la Fig. 2 (Ref. 2), se ilustra el porcentaje por prácticas realizadas en el Estado de California.

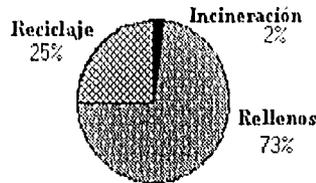


Fig. 2. Prácticas del Estado de California, E.U., 1995.

2.1. Cantidades de desperdicio

De acuerdo a estimaciones realizadas por la EPA, en los Estados Unidos se producen más de diez billones de toneladas de desperdicios por año (ver Tabla 2). Esta cantidad incluye no sólo a los desperdicios municipales sino también a los de la agricultura, minería, e industria, es decir, se producen cerca de 180 millones de toneladas de desperdicio municipal cada año.

La EPA estima que para el año 2000 (Ref. 4), los ciudadanos estadounidenses generarán aproximadamente 216 millones de toneladas de desperdicio municipal (Fig. 3). Los volúmenes de desperdicio están creciendo más rápidamente que la población. Los Estados Unidos producen actualmente cerca de 1.8 kg/hab-día de desperdicios sólidos municipales, contra los 1.6 kg/hab-día que se producían en 1960. Para el año 2000 se proyecta una producción de 1.9 kg/hab-día.

Tabla 2: Cantidades de desperdicio

TIPO DE DESPERDICIO	CANTIDADES ANUALES
Sólidos municipales	133 millones de toneladas
Domésticos peligrosos	10^{-3} a 10^{-3} el peso del sólido municipal
Lodo municipal	Agua de desperdicio menos 8.4 millones de toneladas (base en seco)
Desperdicios municipales	2.3 millones de toneladas
Cenizas de combustión industrial	430 millones de toneladas (base en seco)
Pequeñas cantidades no peligrosas	660 mil toneladas
Construcción/demolición	31 millones de toneladas
Agrícola	Se desconoce
Aceite y gas	Se desconoce
Minería	1.4 billones de toneladas

Tomada de la Ref. 3

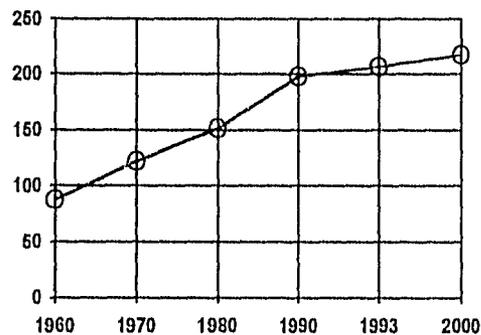


Fig. 3. Estimación de las tasas de generación de desperdicios para E.U. entre 1960 y 2000.

2.2. Cantidad y composición de desperdicios

Existe cierta confusión sobre los reportes de las tasas de generación de desperdicios, debido a los diferentes métodos de medición y a las diferentes clasificaciones de desperdicios adoptadas. Además, muchos operadores de este tipo de instalaciones han reconocido hasta recientemente la importancia de llevar buenas bitácoras. A muchas instalaciones les falta equipo para carga, así que las estimaciones de cantidades que se han manejado en el pasado pueden ser inexactas.

El método estándar para reportar la generación de desperdicios está en función del peso; sin embargo, esta información es de valor limitado para el diseño de un relleno debido a que los requerimientos promedio del mismo depende de mediciones volumétricas.

El volumen de desperdicio depende en qué tanto ha sido compactado y de si se trata de un material denso, tal como arena de fundición, o material ligero, como el hule espuma. Algunos datos promedio desarrollados para modificar los datos en peso a datos en volumen para diferentes tipos de materiales de desperdicio se muestran en las Tablas 3 y 4.

Es esencial contar con mediciones de las cantidades locales de desperdicios para tener información necesaria para desarrollar un plan de manejo de desperdicios, debido a que:

- a) la recolección de desperdicios sólidos y su disposición depende de la composición y densidad;
- b) debe preverse el futuro espacio para el relleno y la vida del mismo;
- c) el conocimiento de la composición del desperdicio sólido apunta hacia los métodos del posible reciclaje y reuso;
- d) el equipo necesario para centros de reciclaje pueden ser diseñados apropiadamente;
- e) la información de peso y volumen son importantes para diseñar contenedores de almacenamiento de basura y equipo de compactación;
- f) pueden diseñarse vehículos adecuados para la recolección de basura.

2.3. Interés ambiental

Manejar los inmensos volúmenes de desperdicios es un gran problema; sin embargo, los impactos al ambiente y la salud por el manejo inapropiado de ellos, son un punto clave de interés para nuestra sociedad.

De mayor interés es la contaminación del agua subterránea. Los contaminantes en los desperdicios pueden provocar graves problemas de salud y ambientales si se permite que entren a ésta, la cual es usada para beber aproximadamente por el 70% de la población del País. Las reacciones químicas durante la descomposición del material en un relleno sanitario puede permitir que algunos contaminantes, como los metales, se vuelvan solubles formando lixiviados y emigren, si no se contienen, hacia las fuentes de agua de los alrededores. Hoy en día el diseño de rellenos busca contener estos materiales de desperdicio y monitorear el agua subterránea para asegurar que la instalación sea segura.

Tabla 3: Densidades típicas de los desperdicios sólidos

TIPO DE DESPERDICIO	DENSIDAD (kg/m ³)
Residencial (sin compactar)	
Escombros	88.18 - 176.36
Cortes de jardín	64.13 - 147.50
Cenizas	657.35 - 833.71
Residencial (compactado)	
En camión compactador	176.36 - 445.71
En relleno (compactado normal)	355.93 - 505.03
En relleno (bien compactado)	593.21 - 742.32
Residencial (después de procesar)	
Empacado	753.54 - 1069.39
Cortado (sin compactar)	118.64 - 267.75
Cortado (compactado)	657.35 - 1074.20
Comercial-Industrial (sin compactar)	
Desperdicio de comida	529.08 - 961.97
Escombros combustibles	48.10 - 176.36
Escombros no combustibles	176.36 - 355.93

Tomado de Ref. 5

Tabla 4: Densidades típicas sin compactar de los componentes de los desperdicios sólidos municipales

COMPONENTE	DENSIDAD (kg/m ³)
Desperdicios de comida	128.3 - 480.9
Papel	32.1 - 128.3
Cartón	32.1 - 80.2
Plásticos	32.1 - 128.3
Textiles	32.1 - 96.2
Plástico	96.2 - 192.39
Piel	96.2 - 256.5
Cortes de jardín	64.1 - 224.5
Madera	128.3 - 320.7
Vidrio	160.3 - 480.9
Bote de hojalata	48.1 - 160.3
Metales no férreos	64.1 - 240.5
Metales férreos	128.3 - 1122.3
Polvos, cenizas, ladrillos	320.7 - 961.9

Tomada de Ref. 5

Al degradarse los desperdicios en el relleno sanitario, se produce gas metano (gas explosivo que no tiene olor). A menos que el metano sea controlado, se puede acumular en un relleno y emigrar hacia estructuras cercanas, creando una amenaza de explosión. El metano también puede matar la vegetación necesaria para mantener el relleno sin problemas de erosión. Durante la descomposición del desperdicio en un relleno también se pueden producir otros gases tóxicos que son materia de preocupación para los operadores del mismo y para las propias autoridades.

La seguridad de los trabajadores es el punto clave en el análisis de la calidad del aire alrededor de un relleno sanitario. La operación pobre del relleno también puede causar la creación de condiciones molestas que resultarán en relaciones públicas pobres con los

vecinos y las comunidades cercanas. Los malos olores, contaminación del aire por incendios en los rellenos, desperdicios arrastrados por el aire, y el ruido, pueden todos llegar a niveles inaceptables si no se atacan rápidamente. La apropiada operación del relleno puede eliminar o disminuir significativamente estos problemas.

2.4. Manejo integrado de desperdicios

La preocupación por los impactos ambientales de los rellenos sanitarios ha conducido a investigar otras alternativas aptas para los mismos. Sin embargo, el relleno sanitario sigue siendo la principal forma de disposición de desperdicios en el País (aproximadamente el 80% del total de desperdicios).

En la siguiente década, se espera que esa opción cambie radicalmente. En ciertas comunidades de los Estados Unidos ya se están empezando a utilizar lo que comúnmente se llama "manejo integrado de desperdicios", el cual es un acercamiento a la fuente de los propios desperdicios y a su manejo en forma económica y ambientalmente eficiente. Según lo anterior, debería practicarse la siguiente jerarquía del manejo de desperdicios:

1. Reducción de desperdicios.
2. Reciclaje.
3. Composteo.
4. Incineración.
5. Relleno Sanitario.

Con esta jerarquía, se disminuye la confianza en los rellenos sanitarios y se maneja el desperdicio en forma más eficiente.

La manufactura de bienes más durables, la mejor utilización de los productos existentes, y la disminución de empaques, puede ayudar a reducir la disposición de desperdicios. La reducción de desperdicios requiere de una política nacional efectiva, incluso que se prohíba el uso de ciertos productos por no ser reciclables.

Muchas comunidades de Estados Unidos están empleando el reciclaje para adelantar la reducción de los volúmenes de desperdicio que debe ser manejado. El reciclaje primero recolecta material reusable, el cual se transforma para manufacturar nuevos productos. En Estados Unidos ya existen mercados para algunos materiales reciclados, como periódico, vidrio, y aluminio; para otros materiales, como revistas, existen algunos mercados. Estos esfuerzos han logrado reducir los volúmenes de desperdicio reciclando el 25% o más.

Aunque es difícil que se implemente un sistema de reciclado en nuestro País, poco a poco se ha ido sembrando la semilla de la concientización pública para manejar de mejor manera el derrame de desperdicios. Como punto de comparación con el reciclaje que se realiza en los Estados Unidos, en México se cuenta con los llamados "pepenadores", personas que obtienen el sustento de sus familias a través de la extracción de material todavía utilizable. Sin embargo, lejos de ser una ayuda, constituyen una problema al hacer que las operaciones en el frente de trabajo del relleno no se efectúe de manera efectiva, al

estorbar al libre movimiento de la maquinaria, al desparramar los desperdicios y al provocar que la apariencia del relleno sea empobrecida con sus actividades.

El desperdicio que no es reciclado contiene tanta energía como valor nutricional, que al procesarse pueden ser capturados. Además, este procesamiento reduce los volúmenes de desperdicio. El composteo y la incineración procesan los materiales de desperdicio para capturar este valor.

El composteo es un proceso biológico natural que reduce el derrame de desperdicios en un producto al poder ser usado como mejorador de suelo.

La incineración, o quemado de desperdicio para producir energía también es un acercamiento atractivo. Los proyectos de incineración apropiadamente operados pueden proporcionar energía en forma de electricidad o vapor, al mismo tiempo que reduce el volumen de desperdicios con una insignificante fracción que es depositada en el relleno.

No obstante que las comunidades realizaran su máximo esfuerzo para reducir los desperdicios con reciclaje, composteo, y/o incineración, se requerirá un relleno sanitario. El manejo integrado de desperdicios involucra la mezcla apropiada de todos estos acercamiento en el manejo de desperdicios. Este manejo integrado mejorará la protección ambiental, controlará los costos a largo plazo, y podrá ser una fuente de nuevos trabajos y de desarrollo económico.

Un relleno bien diseñado y operado es una clave componente de un efectivo sistema de manejo integrado de desperdicios.

CAPÍTULO 3:
ESTUDIOS.

3. ESTUDIOS

3.1 Estudios preliminares

Es indispensable la determinación del tiempo en que la obra servirá en forma eficiente a la población a que estará destinada; a este tiempo se le denomina "Periodo Económico de Proyecto", que para su concepción exige de estudios sobre población, involucrando su forma de crecimiento así como de estudios económicos que incluyen el costo del capital invertido en el proyecto, la construcción y la operación.

La idea fundamental es la de hacer proyectos económicos, tomando en cuenta la capacidad de pago de los usuarios, por lo que en muchas obras se observa que a medida en que aumentan las necesidades se aumenta también su capacidad. Esto parecerá normal bajo ciertos puntos de vista, pero el criterio que se debe seguir, es el de proyectar una obra con amplitud o suficiencia, pero evitando cualquier concepto que pueda hacerla incoachable.

El respecto existe un criterio económico generalizado, y es que los beneficiarios no tienen forzosamente por que pagar la totalidad de las necesidades, pues sería un capital enterrado sin provecho alguno.

Por lo anterior, es necesario coordinar esos factores y elaborar proyectos para plazos razonables, dado que la capacidad económica de nuestro país exige de periodos más o menos cortos.

3.1.1 Cálculo de población

Para el estudio de población se requieren conocer los factores que tienen influencia. A nivel mundial, a pesar de las guerras, enfermedades, y otras calamidades, se ha elevado la tasa de crecimiento de la población a más del 3%.

El crecimiento demográfico en nuestro país es acelerado. Según el censo de 1970, la población total crece aproximadamente al 3.4% anual, siendo la población urbana la que más crece, alcanzando aproximadamente el 5%, en tanto que la población rural es del 1.5%.

Entre las causas que influyen en la diferencia entre la población urbana y la rural pueden citarse los nacimientos, la reducción de la mortalidad, y la inmigración y anexión, las cuales están sujetas a influencias económicas y sociales de carácter nacional y aún internacional. La industrialización es un factor importante para el crecimiento y cuando por razones especiales se establece en alguna zona de escasa población, cambia la fisonomía de ésta, de rural a urbana, y en las zonas urbanas causan una verdadera explosión demográfica.

La forma más efectiva y más comúnmente usada, es valerse de los censos nacionales de población con recopilación de datos levantados cada 10 años. Para el ejemplo práctico que se tratará, consideraremos los siguientes datos de dichos censos:

Para realizar una comparación y obtener una mejor aproximación de la población futura existen tres métodos de cálculo:

- a) Método Aritmético.
- b) Método Geométrico.
- c) Método de Extensión Gráfica.

Tabla 5: Censos de población

AÑO	NÚMERO DE HABITANTES
1960	85,024
1970	167,956
1980	304,826
1989	540,512

Antes de aplicar cualquier método, es preciso conocer para que periodo se estudiará el crecimiento de población, sabiendo de antemano que no deberá ser muy largo.

El periodo económico de proyecto, como su nombre lo indica, supone un crecimiento potencial y ascendente aplicado a través de un porcentaje que se suma cada vez a los años futuros.

Este método es sólo la aplicación de la fórmula del interés compuesto, dado por la expresión:

$$\frac{P_f}{P_o} = (1+r)^n \quad (1)$$

donde:

Pf : población en el último año tabulado, para nuestro caso 1989.

Po : población en el primer año tabulado, para nuestro caso 1960.

r : rapidez media de crecimiento anual.

Sustituyendo valores en la expresión (1) y resolviendo:

$$\frac{540,512}{85,024} = (1+r)^{29}$$

$$6.357 = (1+r)^{29}$$

$$\text{Log}(6.357) = 29 \text{ Log}(1+r)$$

$$0.80325 = 29 \text{ Log}(1+r)$$

$$\text{Log}(1+r) = 0.80325 / 29$$

$$\text{Log}(1+r) = 0.027698$$

$$1+r = 10^{0.027698}$$

$$1+r = 1.06585$$

$$r = 0.06585$$

$$r = 6.58\%$$

Cuando la rapidez de crecimiento es menor que 3% se estima un periodo de proyecto de hasta 10 años (Ref. 6), mientras que para un crecimiento mayor se estima un periodo económico entre 10 y 15 años.

Para este caso, se opta por el periodo de 15 años. La realización de la obra implica un cierto tiempo que no deberá tomarse en cuenta dentro de este periodo, por lo que habrá de ajustarse. Suponiendo un plazo de un año para estudio, proyecto y construcción de obras, se tiene:

$$1989 + 15 + 1 = 2005$$

Entonces, la población de proyecto se estudiará para el año 2005.

3.1.1.1 Método aritmético

Este procedimiento consiste en determinar las diferencias absolutas entre dos censos, llamadas "incrementos aritméticos", sumarlas y encontrar un promedio de ellas, que luego se aplica como crecimiento constante y uniforme sucesivamente a partir de la última población. Matemáticamente se expresa como:

$$i/\text{año} = \frac{\sum(P_n - P_{n-1})}{\sum(Y_n - Y_0)} \quad (2)$$

donde:

- $i/\text{año}$: incremento promedio por año.
- P_n : población en el año "n".
- P_{n-1} : población en el año "n-1".
- Y_n : último año del censo.
- Y_0 : primer año del censo.

Para ejemplificar la expresión (2) y utilizando la Tabla 5, se hace lo siguiente:

Tabla 6

AÑO	NÚMERO DE HABITANTES	INCREMENTO	NÚMERO DE AÑOS	INCREMENTO POR AÑO
1960	85,024			
1970	167,956	82,932	10	8,293.2
1980	304,826	136,870	10	13,687.0
1989	540,512	235,686	9	26,187.3
		455,488	29	

De la Tabla 6 podemos observar tres periodos, dos de 10 años y uno de 9 años, entonces el incremento promedio por año aplicando la expresión (2) será:

$$i/\text{año} = 455,488/29 = 15,706.48$$

15,706 = Número de habitantes por cada año.

Para obtener la población de proyecto con este método se hace uso de la siguiente expresión:

$$P_n = P_{n-1} + (i/\text{año} \cdot (Y_n - Y_{n-1})) \quad (3)$$

donde:

- P_n : población para el año "n".
- P_{n-1} : última población conocida.
- $i/\text{año}$: incremento promedio por año.
- Y_n : año "n".
- Y_{n-1} : año anterior.

Aplicando la expresión (3) se obtiene:

- Para el año 1990:
 $P_n = 540,512 + (15,706 \times 1) = 556,218 \text{ hab.}$
- Para el año 2000:
 $P_n = 556,218 + (15,706 \times 10) = 713,278 \text{ hab.}$
- Para el año 2005:
 $P_n = 713,278 + (15,706 \times 5) = 791,808 \text{ hab.}$

De este último resultado se tiene que la población de proyecto utilizando este método es de 791,808 habitantes.

Este mismo procedimiento puede resumirse en la siguiente fórmula, de la cual se obtendrá un resultado semejante al final del último periodo por considerar.

$$P_f = P_a + \frac{P_a - P_i}{n} (P_e) \quad (4)$$

donde:

- P_f : población final.
- P_a : población actual.
- P_i : población inicial.
- n : diferencia entre los años en que se considera la población actual y la final.
- P_e : periodo económico.

Sustituyendo valores en la expresión (4):

- Para el año 2005:
 $P = P_{1989} + ((P_{1989} - P_{1960}) / 29) \times 16$
 $P = 540,512 + ((540,512 - 85,024) / 29) \times 16$
 $P = 540,512 + 251,296$
 $P = 791,815 \text{ hab}$

3.1.1.2 Método geométrico

3.1.1.2.1 Por porcentajes: Este procedimiento consiste en determinar el porcentaje anual de aumento por medio de los porcentajes de aumento en los años anteriores y aplicarlos en el futuro.

De la Tabla 7 se obtiene:

- $256.35/29 = 8.8396 = 8.84\%/\text{año}$
- En periodos de 10 años = 88.4%
- En periodos de 5 años = 44.2%

Tabla 7

AÑO	NÚMERO DE HABITANTES	INCREMENTO	PORCENTAJE DE INCREMENTO	NÚMERO DE AÑOS	PORCENTAJE ANUAL
1960	85,024				
1970	167,956	82,932	97.54	10	9.75
1980	304,826	136,870	81.49	10	8.15
1989	540,512	235,686	77.32	9	8.50
			256.35	29	

- Para el año 1990:

$$P = 540,512 + (540,512 \times 8.84) / 100 = 588,293 \text{ hab}$$

- Para el año 2000:

$$P = 588,293 + (588,293 \times 88.4) / 100 = 1'108,344 \text{ hab}$$

- Para el año 2005:

$$P = 1'108,344 + (1'108,344 \times 44.2) / 100 = 1'598,232 \text{ hab}$$

3.1.1.2.2 Por incremento medio total: Este procedimiento consiste en suponer que la población tendrá un incremento análogo al que sigue un capital primitivo, aumentado en sus intereses, en el que el rédito es el factor de crecimiento.

$$Pf = Pa(1+r)^n \quad (5)$$

$$\text{Log}(1+r) = \frac{\text{Log}(Pf) - \text{Log}(Pa)}{n} \quad (6)$$

Tabla 8

AÑO	NÚMERO DE HABITANTES	Log DE HABITANTES	Log (1 + r)
1960	85,024	4.9295	
1970	167,956	5.2252	0.02957
1980	304,826	5.4841	0.02589
1989	540,512	5.7328	0.02764
			0.08309

La columna Log(1+r), se obtiene restando los logaritmos de habitantes sucesivos entre los "n" años que existen entre ellos.

$$\text{Log}(1+r) = 0.08309/3 = 0.027697$$

De la expresión (5) obtenemos:

$$\text{Log}(Pf) = \text{Log}(Pa) + n \text{Log}(1+r)$$

- Para el año 1990:

$$\text{Log}(P) = \text{Log}(540,512) + (1 \times 0.027697)$$

$$\text{Log}(P) = 5.7328 + 0.027697$$

$$\text{Log}(P) = 5.760497$$

$$P = 10^{5.760497}$$

$$P = 576,099 \text{ hab}$$

- Para el año 2000:
 $\text{Log}(P) = \text{Log}(576,099) + (10 \times 0.027697)$
 $\text{Log}(P) = 5.760497 + 0.27697$
 $\text{Log}(P) = 6.03747$
 $P = 10^{6.03747}$
 $P = 1'090,109 \text{ hab}$

- Para el año 2005:
 $\text{Log}(P) = \text{Log}(1'090,109) + (5 \times 0.027697)$
 $\text{Log}(P) = 6.0375 + 0.138485$
 $\text{Log}(P) = 6.175985$
 $P = 10^{6.175985}$
 $P = 1'499,633 \text{ hab}$

3.1.1.3 Método de extensión gráfica

Haciendo uso del sistema de ejes cartesianos, tomando como eje de las abscisas los años y como eje de ordenadas las poblaciones correspondientes a ellos, se traza una curva uniendo cada punto mediante líneas rectas que corresponden a cada periodo.

Este método sirve para darse cuenta del rápido crecimiento de la población, trazando una curva media que se extiende hasta la fecha de proyecto.

Por su facilidad de aplicación, este método es usado frecuentemente sin grandes exigencias, porque la experiencia ha demostrado que da resultados satisfactorios.

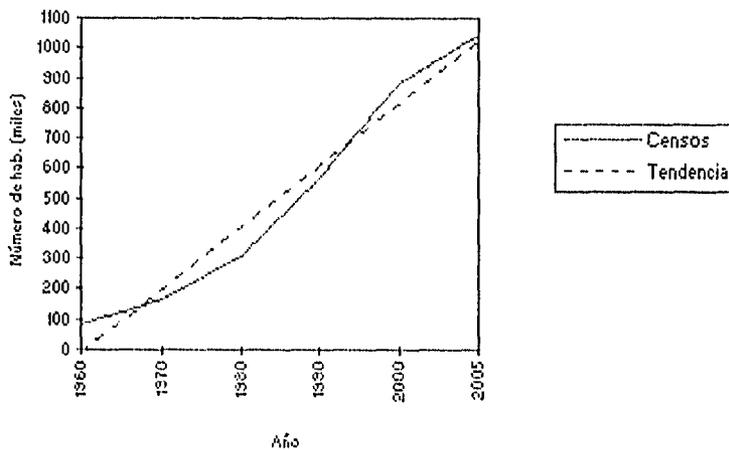


Fig. 4. Método gráfico.

De la Fig. 4 se obtienen los datos de la Tabla 9:

Tabla 9

AÑO	NÚMERO DE HABITANTES
1960	85,024
1970	167,956
1980	304,826
1989	540,512
1990	570,000
2000	880,000
2005	1'045,000

La experiencia indica que la mejor solución es la de encontrar el promedio de los resultados de los diferentes métodos empleados para la obtención de la población de proyecto. Los resultados obtenidos hasta el momento se presentan en la Tabla 10.

$$\text{Promedio} = (4'934,673)/4 = 1'233,668$$

Tabla 10

MÉTODO	HABITANTES (P)
* Aritmético	791,808
* Geométrico	
Porcentajes	1'598,232
Incremento	1'499,633
* Gráfico	1'045,000
	4'934,673

$$\text{Población de proyecto} = 1'233,668 \text{ Habitantes}$$

3.1.2 Estudios de generación de residuos sólidos

La generación de residuos sólidos se refiere a la cantidad de éstos originados por una fuente determinada en un intervalo de tiempo.

Los residuos sólidos municipales son aquellos que se producen en casas-habitación, parques, jardines, vía pública, oficinas, sitios de reunión, mercados, comercios, construcciones, demoliciones, instituciones, establecimientos de servicios; en general, todos aquellos generados en actividades municipales que no requieran técnicas especiales para su control, excepto los peligrosos y potencialmente peligrosos de hospitales, clínicas, laboratorios y centros de investigación.

Comúnmente se usan tres métodos para determinar las tasas de generación de desperdicios sólidos per-cápita (Ref. 5):

a) Análisis de cuenta por carga.

En el análisis de cuenta por carga, se registra el número de cargas individuales, las características del vehículo, y el peso de cada carga en un período específico de tiempo.

Las tasas unitarias de generación se determinan usando la información de campo o la publicada. Por ejemplo, si diez camiones compactadores de 15 metros cúbicos cada uno son arrastrados semanalmente por un área residencial de 1,000 hogares, y la densidad del desperdicio sólido es 208 kg/m³, entonces la cantidad total estimada de desperdicio producido es:

$$(10 \text{ cargas/semana}) \times (15 \text{ m}^3/\text{carga}) \times (208 \text{ kg/m}^3) = 31,200 \text{ kg/semana.}$$

b) Análisis de peso y volumen.

En el análisis de peso y volumen, cada carga es pesada para proporcionar mejor información sobre la densidad de varias formas de desperdicios sólidos en un lugar dado.

c) Análisis de balance de materia.

El análisis de balance de materia para una fuente dada, tal como un complejo habitacional o un centro comercial, es la forma confiable para determinar las tasas de generación.

Un análisis de balance de materia puede ser desarrollado al conocer lo siguiente:

1. los límites o fronteras alrededor del sistema estudiado (un hogar individual o una planta industrial);
2. identificación de todas las actividades que cruzan y ocurren dentro de dichas fronteras o límites, las cuales afectan la tasa de generación de desperdicios;
3. identificación de la tasa de generación de residuos sólidos asociada con estas actividades;
4. determinación de la cantidad de residuos sólidos generados, recolectados, o almacenados, por medio del balance de materia.

La estimación apropiada de la cantidad y composición del desperdicio es de gran importancia porque repercute directamente sobre la vida útil del relleno sanitario, provocando una idea errónea con respecto a la tasa de desperdicios que entran al mismo, lo que directamente genera problemas durante la etapa de operación.

3.1.2.1 Generación per-cápita

Este parámetro se obtiene con base en la generación promedio de residuos sólidos por habitante, medido en kg/hab-día, a partir de la información que se obtiene de un muestreo aleatorio en campo de cada uno de los estratos socioeconómicos que componen a la población en estudio.

En primer término debe seleccionarse el riesgo con que se realizará el muestreo, el cual se elige con base en los siguientes factores:

- Conocimiento de la localidad.
- Calidad técnica del personal participante.
- Facilidad para realizar el muestreo.
- Características de la localidad a muestrear.

- Exactitud de la báscula por emplear.

Estos factores influyen en el riesgo para seleccionar el tamaño de la muestra a estudiar, de acuerdo con los estratos socioeconómicos o zonas habitacionales.

Utilizando la Norma Mexicana NMX-AA-61-1985 (ver Anexo), se desarrolla el muestreo de la forma establecida, de donde se desprenden los resultados que se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11

NIVEL SOCIOECONÓMICO	CANTIDAD (kg)	NÚMERO DE HABITANTES	NÚMERO DE DÍAS
ALTO	393.50	50	10
MEDIO	339.59	50	10
BAJO	295.67	50	10

De esta forma, la generación promedio al día por habitante se determina de la siguiente manera:

- Nivel alto:

$$393.30/50 = 7.866/10 = 0.7866 \text{ kg/hab-día}$$

- Nivel medio:

$$339.59/50 = 6.7918/10 = 0.67918 \text{ kg/hab-día}$$

- Nivel bajo:

$$295.67/50 = 5.9134/10 = 0.59134 \text{ kg/hab-día}$$

$$(0.7866 + 0.67918 + 0.59134)/3 = 0.6857 \text{ kg/hab-día}$$

Utilizando la población del censo propuesta en la Tabla 5 y la generación promedio se obtiene:

$$540,512 \text{ Hab} (0.6857) = 370,629.08 \text{ kg/día}$$

A esta generación de residuos se le debe agregar los provenientes de otras fuentes de cada uno de los servicios y/o actividades de la comunidad, la que para nuestro caso es de 40,000 kg/día. De aquí que el total generado por día es:

$$410,629.08 \text{ kg/día}$$

El promedio de basura generado entre habitantes y comercios es:

$$(410,629.08 \text{ kg/día}) / (540,512 \text{ hab})$$

$$0.7597 \text{ kg/hab-día}$$

Finalmente, los datos para diseño serán:

- * POBLACIÓN: 540,512 habitantes
- * RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS: 410,629.08 kg/día
- * GENERACIÓN PER-CÁPITA: 0.7597 kg/hab-día

3.1.3 Selección del sitio

Debido a que un relleno sanitario puede diseñarse utilizando un geosintético para reemplazar o reforzar el material de su base, se puede pensar que un relleno es susceptible

de localizarse en cualquier lugar. Sin embargo, existen una variedad de factores que deben ser estudiados para determinar dicha aceptabilidad.

Entre esos factores se incluyen: la opinión pública, la salud y seguridad, la distancia de acarreo, la accesibilidad, el clima, el drenaje, el uso del terreno, y la economía. Es decir, sin importar que tan sólido aparente ser el diseño de la instalación, no existe duda que el interés público debe ser atendido en el proceso de evaluación.

Entre los lugares que pueden ser utilizados para localizar un relleno sanitario se encuentran:

- El sitio que sirve a una región de varias comunidades y está localizado a cierta distancia del desarrollo habitacional;
- El sitio que podría adquirir valor económico o estético si se llena con desperdicio sólido;
- El sitio que, después de la construcción, puede ser utilizado con fines recreativos.

Un relleno sanitario deberá tener las siguientes propiedades:

1. Se ajusta al uso del suelo del área;
2. Es fácilmente accesible bajo cualquier clima para los vehículos esperados durante la operación del relleno;
3. Cuenta con protecciones para contrarrestar la potencial contaminación de la superficie y del agua subterránea;
4. Cuenta con protecciones en contra del movimiento del gas originado por el desperdicio sólido dispuesto;
5. Cuenta con una adecuada cantidad de material de cubierta que es fácilmente manejado y compactado;
6. Estará localizado en un área donde su operación no impactará en los recursos ambientales;
7. Será lo suficientemente grande para disponer los desperdicios de la comunidad en un tiempo razonable;

3.1.3.1 Búsqueda

El proceso de localización del sitio apropiado para un nuevo relleno sanitario debe incluir las siguientes etapas:

1. Identificación de metas.

La comunidad o compañía privada que desarrolle un relleno deberá identificar claramente las metas del proyecto. Cada entidad tendrá necesidades específicas, pero las metas comunes para muchos proyectos incluirán:

- área geográfica para la que servirá el sitio;
- costo de operación;
- distancia máxima de acarreo; y
- mínima, y posiblemente máxima, vida de operación del sitio.

2. Identificar las bases de diseño de la instalación.

Mediante el uso de información relacionada con la población y las tasas actuales de generación de desperdicios sólidos, el constructor deberá proyectar la cantidad de desperdicio que la instalación recibirá.

3. Identificar los sitios potenciales.

Después de establecer el tamaño del sitio requerido para que el relleno sanitario funcione durante un cierto número de años, se puede iniciar la búsqueda de los sitios potenciales.

Los métodos para localizar los sitios apropiados pueden variar desde inspecciones informales hasta estudios completos mediante el uso de mapas y de fotografías aéreas. Se hará una comparación entre todos los sitios disponibles en el área, para posteriormente desarrollar un estudio más detallado.

Las entidades que desarrollan este tipo de instalaciones pueden encontrar benéfico mostrar a las autoridades normativas que se han evaluado varios sitios antes de seleccionar uno para entonces realizar un estudio detallado y su posible implementación o rechazo, para posteriormente elegir otro.

4. Evaluar a detalle los sitios más deseables.

La cuarta etapa en el proceso de selección es la de conducir una investigación detallada de aquellos lugares designados como más apropiados.

La mayoría de la información recolectada atañe a las características hidrogeológicas de el o los sitios potenciales. Esto incluye los patrones de drenaje, las formaciones geológicas, la profundidad del agua subterránea, dirección del flujo, la calidad y las características constructivas del suelo del sitio.

Se deben conducir investigaciones en los sitios potenciales que contengan las características más deseables. Estas investigaciones consistirán en perforaciones en el sitio propuesto y en sus vecindad para determinar las condiciones del subsuelo. El número, localización, y profundidad de dichas perforaciones están determinadas por la hidrogeología del sitio. El número de perforaciones necesarias para definir con exactitud las condiciones aumenta con el tamaño y la complejidad geológica del sitio.

Mientras se realizan las perforaciones, un especialista de suelos o un geólogo recolectará muestras para su correspondiente prueba. Normalmente a las muestras de suelo se les clasifica y se les determina su distribución granulométrica, límites de consistencia y contenido de humedad.

Los suelos que posteriormente pueden ser empleados como recubrimiento interior y cubierta del relleno, tendrán también que ensayarse para determinar su permeabilidad.

Las perforaciones deberán extenderse por lo menos hasta una profundidad aproximada de 6 m por debajo del nivel proyectado de desplante del relleno. Una parte de las perforaciones deberán llevarse por abajo del nivel freático si este se encuentra a más de 6 m por debajo de la base de la instalación. Las perforaciones pueden subsecuentemente ser convertidos en pozos de monitoreo del agua

subterránea para observar los cambios a largo plazo del nivel freático y para facilitar la recolección de muestras del agua.

La medición de los niveles de agua en los pozos mostrarán la dirección del flujo subterráneo. Además, el agua subterránea puede moverse verticalmente dentro de la formación del subsuelo debajo del sitio.

5. Seleccionar el mejor lugar para desarrollo.

Se pueden revisar cuidadosamente mapas y fotos aéreas para cada área, con el propósito de detectar cualquier formación, determinar la conveniencia del acceso de caminos, verificar las distancias de resguardo, y determinar la propiedad del terreno. Durante esta etapa, se identificarán los sitios con el área requerida. Cuando se seleccionen los sitios, se dará preferencia a las áreas que cuenten con un propietario. Después de que se identifiquen los sitios potenciales, se conducirá una inspección para verificar y refinar la información del sitio.

Una vez analizados todos los conceptos que influyen en la selección del sitio se pasa a calificar cada uno de los lotes seleccionados

6. Obtener la aprobación normativa del sitio.

En esta etapa, después de haber realizado todas las mencionadas anteriormente, se define finalmente a través del permiso de la institución normativa cual será el sitio adecuado para la instalación del relleno sanitario y empezar a planear la construcción y operación del mismo.

3.1.4 Criterios de campo para evaluar sitios

Existen varios factores que impactan en la selección del sitio para la disposición de desperdicios sólidos. El proceso de evaluación involucra varias etapas. El propósito de cada etapa es el de reducir la lista de los sitios posibles; esto nos lleva a uno o más sitios para que en ellos se realice un análisis e investigación más detallada. Los criterios que pueden ser considerados para evaluar la conveniencia de un sitio se muestran a continuación:

- a) **VIDA ÚTIL DEL SITIO.** El predio deberá contar con una superficie tal que, habiendo definido las cotas de piso terminado final del relleno sanitario, la oferta volumétrica asegure su operación por lo menos durante siete años.
- b) **MATERIAL PARA LA COBERTURA DE LOS RESIDUOS.** Se buscará un sitio que cuente con suficiente material para la cobertura de los residuos sólidos durante la operación del relleno sanitario. En caso de no contar con material de cubierta suficiente dentro del sitio, se deberán identificar posibles bancos de préstamo, cercanos y accesibles, tomando en cuenta el costo de transporte.
- c) **ACONDICIONAMIENTO DEL SITIO.** Se tratará de encontrar un sitio que requiera las menores obras de adecuación y acondicionamiento posibles antes de iniciar la operación del relleno sanitario, a fin de evitar un mayor costo de inversión. El relleno puede diseñarse y operarse en cualquier tipo de topografía. Sin embargo, es preferible aquella en

que se logre el mayor volumen aprovechable por hectárea, como es el caso de minas a cielo abierto abandonadas, inicio de cañadas, manglares contaminados y otros.

- d) **CERCANÍA Y VÍAS DE ACCESO.** La distancia y las condiciones de acceso al sitio del relleno sanitario inciden directamente sobre los costos de operación de cualquier sistema de manejo y disposición final de residuos sólidos. Por tal razón, siempre se buscará que el sitio no se encuentre muy alejado de la mancha urbana, comunicado con ella mediante algún camino transitable todo el tiempo.
- e) **INCIDENCIA DE VIENTOS.** El sitio deberá estar ubicado de tal manera que los vientos dominantes incidan en sentido contrario a la mancha urbana, para eliminar la posibilidad de inundar la localidad con malos olores generados en el sitio de disposición final por una mala operación del relleno sanitario.
- f) **VISIBILIDAD DEL SITIO.** Aunque no es un factor de mucho peso, no se debe pasar inadvertido el hecho de que por los problemas de queja pública que pueden surgir entre la ciudadanía, es preferible contar con un sitio oculto que uno a la vista de todos.
- g) **UBICACIÓN CON RESPECTO A CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES Y POZOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.** Para evitar que por escurrimientos superficiales o infiltración se lleguen a contaminar los cuerpos de agua superficial o subterránea, se cuidará que el sitio elegido para la implantación del relleno sanitario se halle lo más alejado posible de esos cuerpos, además de que cuente con un adecuado sistema de drenaje pluvial para evitar escurrimientos hacia el interior del relleno sanitario.
- h) **UBICACIÓN DENTRO DE LA CUENCA APORTANTE.** Con el objeto de minimizar los problemas de operación en el relleno sanitario, causados por una deficiente captación de los escurrimientos superficiales pluviales que concurren hacia la zona donde se pretenda llevar a cabo tal obra de ingeniería, es importante elegir un sitio que presente un buen sistema de drenaje natural, independientemente de la red de drenaje pluvial con que se deberá equipar el relleno sanitario.
- i) **CARACTERÍSTICAS DE SUELO.** Los líquidos contaminantes producidos en cualquier sitio de disposición final de residuos sólidos, pueden llegar a infiltrarse en el subsuelo y llegar al manto acuífero, contaminando a ambos elementos. Por lo anterior, se debe prever que el subsuelo reúna, las características tanto de impermeabilidad como de remoción de contaminantes. Los suelos areno-arcillosos son los más recomendables ya que son poco permeables, reduciéndose sustancialmente la infiltración de líquidos contaminantes; por otra parte, este tipo de suelo es suficientemente manejable para realizar excavaciones y cortes y usarlo como material de cubierta.
- j) **PROFUNDIDAD DEL MANTO FREÁTICO.** Debe evitarse por todos los medios la afectación de la calidad de las aguas del acuífero de la zona donde se ubica el sitio. Por ello, es deseable que el nivel freático se encuentre lo más profundo posible de la superficie del terreno.

k) **TENENCIA DE LA TIERRA.** Un proyecto de relleno sanitario podrá iniciarse solamente cuando la entidad responsable del relleno (Municipio), tenga en sus manos el documento legal que la autorice a construir sobre el terreno el relleno sanitario con todas las obras complementarias, estipulando también el periodo y la utilización futura u opciones. Es usual que el Municipio obtenga de particulares el arrendamiento del terreno para el relleno sanitario. En caso de que esto suceda será necesario contar con un convenio o contrato firmado y debidamente legalizado por ambas partes. Cuando el terreno sea propiedad del Municipio, éste deberá quedar debidamente registrado en el catastro de la propiedad, señalando que será de uso restringido.

Los factores de evaluación descritos anteriormente para seleccionar el sitio se presentan en la Tabla 12. Éstos representan un criterio práctico y sencillo para evaluar, en forma calificativa, a los diferentes sitios viables para un relleno sanitario municipal. En la tabla, se asigna un cierto valor a cada uno de los conceptos que influyen en la selección. Este valor se ha determinado de acuerdo a la importancia que tiene cada uno de ellos y se les ha asignado una cantidad en la columna de valores. En las columnas de opciones aparecen los siguientes conceptos:

EXCELENTE	1.00
BUENA	0.85
REGULAR	0.70

Al multiplicarse cada concepto por su columna de valores correspondiente se tendrá un resultado; el sitio que tenga la suma más alta de estos resultados, será la mejor opción para el relleno sanitario.

Una vez analizados todos los conceptos que influyen en la selección del sitio, se califica cada uno de los lotes seleccionados, de la forma en que se muestra la Tabla 13. En ella se puede observar que el "Lote 1" es el que tiene las mejores condiciones para ser utilizado como relleno sanitario.

3.2 Estudios específicos

Este tipo de estudios se refieren a la topografía del sitio elegido, la meteorología de la región y la investigación de las características físico-químicas del suelo, para la construcción del relleno sanitario; y comprende la determinación de todos los parámetros necesarios para el cálculo y prevención de la contaminación, tanto de la atmósfera y aguas subterráneas, como del entorno visual.

3.2.1 Geotecnia.

Las condiciones superficiales y subterráneas de los suelos a utilizar en una instalación de disposición final de residuos sólidos, deben evaluarse para alcanzar con ello un diseño, una operación y un mantenimiento adecuados para las condiciones locales.

Tabla 12: Tabla de evaluación y valores para la selección del sitio para rellenos sanitarios municipales.

CONCEPTOS QUE INFLUYEN EN LA SELECCIÓN DEL SITIO	VALORES	EXCELENTE	BUENO	REGULAR
Vida Útil	1.000	Mayor de 10 años (1.000)	7 a 10 años (0.850)	Menor de 7 años (0.700)
Tierra para Cobertura	0.700	Autosuficiente (0.700)	Acarreo cercano (0.595)	Acarreo lejano (0.490)
Topografía	0.200	Minas a cielo abierto abandonadas (0.200)	Comienzo de cañadas, manglares contaminados (0.170)	Otros (0.140)
Vías de Acceso	0.250	Cercanas y pavimentadas (0.250)	Cercanas y transitables (0.212)	Lejanas y transitables (0.175)
Vientos Dominantes	0.050	En sentido contrario a la mancha urbana (0.050)	En ambos sentidos de la mancha urbana (0.042)	En sentido de la mancha urbana (0.035)
Ubicación del Sitio	0.400	De 3 a 12 Kms. de la mancha urbana (0.400)	Entre 1 y 3 Kms. de la mancha urbana (0.340)	Mayor de 12 Kms. y menor de 1 Km de la mancha urbana (0.280)
Hidrogeología	0.400	Más de 30 m. de profundidad (manto acuífero) (0.400)	Entre 10 y 30 m. de profundidad (manto acuífero) (0.340)	Menor de 10 m. de profundidad (manto acuífero) (0.280)
Geología	0.400	Impermeables (0.400)	Semi-impermeables (0.340)	Permeables (0.280)
Hidrología Superficial	0.300	No hay corrientes superficiales (0.300)	Lejano de corrientes superficiales (0.255)	Cerca de corrientes superficiales (0.210)
Tenencia de la Tierra	0.700	Terreno propio (0.700)	Terreno rentado a largo plazo (0.739)	Terreno rentado a corto plazo (0.490)

Tomada de la Ref. 6

Tabla 13

CONCEPTOS	VALORES		
	LOTE 1	LOTE 2	LOTE 3
1. Vida útil	1.000	0.700	0.850
2. Tierra para cobertura	0.700	0.595	0.595
3. Topografía	0.170	0.140	0.170
4. Vías de acceso	0.212	0.212	0.212
5. Vientos dominantes	0.035	0.050	0.035
6. Ubicación del sitio	0.340	0.340	0.340
7. Geología	0.340	0.340	0.340
8. Hidrogeología	0.340	0.280	0.280
9. Hidrología superficial	0.210	0.210	0.210
10. Tenencia de la tierra	0.700	0.490	0.490
T O T A L E S:	4.047	3.357	3.522

La profundidad de investigación depende de la naturaleza de los detalles geotécnicos identificados en la fase de búsqueda y selección del sitio. Sin embargo, la profundidad mínima de perforación cuando el material de la base del relleno es adecuado, usualmente no es mayor de 15 m por abajo del nivel de desplante; sin embargo, algunas de las perforaciones

se llevan más allá de esa profundidad con el propósito de obtener mayor información. Los métodos utilizados para realizar estas investigaciones son los siguientes:

3.2.1.1 Muestreo.

El muestreo consiste en excavar pozos a cielo abierto con profundidad máxima de 2 m por debajo del nivel de desplante de la instalación; en caso de que se hayan realizado sondeos geofísicos, éstos se complementarán con exploración y muestreo del subsuelo. El ancho de estos pozos será el suficiente para que una persona pueda introducirse a sacar muestras (entre 0.8 y 1.5 m).

Los procedimientos de muestreo, en forma amplia, se pueden agrupar en muestreo "alterado" y muestreo "inalterado", como se describen a continuación:

- a) Muestras alteradas. Adecuadas para clasificación y para obtener las propiedades índice de un suelo. Se acostumbra tomar al menos una muestra alterada de cada uno de los pozos a cielo abierto, los cuales se harán como mínimo a razón de uno por hectárea, tomándose el sitio más representativo para cada uno de ellos.
- b) Muestras inalteradas. Son requeridas para efectuar pruebas de laboratorio correspondientes a resistencia, permeabilidad y compresibilidad. Se debe tomar cuando menos una muestra inalterada del sitio por cada estrato, cuya localización es la parte central del terreno elegido para el relleno sanitario. Las muestras inalteradas, deben conservar las condiciones del suelo en su estado natural, por lo que su obtención, empaque y transporte requieren de cuidados especiales.

3.2.1.2 Ensayes de laboratorio.

A las muestras en laboratorio se les realizan los siguientes análisis:

- a) **Clasificación de suelos.** Se usa el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, (SUCS), y que distingue a los suelos finos de los gruesos de acuerdo a las partículas finas que pasan a través de la malla No. 200 (0.074 mm). Un suelo es grueso si más del 50% de sus partículas (en peso) son gruesas, y fino si más de la mitad de sus partículas son finas.

Dentro de los suelos gruesos se considera a cada grupo representándolo con dos letras mayúsculas que son las iniciales de los nombres ingleses de los suelos más típicos: G (grava) y S (arenas y suelos arenosos). De aquí, las gravas y las arenas se separan en la malla No. 4 (4.76 mm) por lo que un suelo pertenece al grupo G si más del 50% de su fracción gruesa (o sea la retenida en la malla No. 200) no pasa la malla No. 4, y si sucede lo contrario el suelo formará parte del grupo S.

Respecto a los suelos finos, el Sistema también considera a los suelos reuniéndolos en grupos formados por dos letras mayúsculas, elegidos con criterio similar al usado para suelos gruesos, obteniéndose las siguientes divisiones: M (limos inorgánicos), C (arcillas inorgánicas), y O (Limos orgánicos). Estos tres tipos se subdividen a su vez, de acuerdo a su límite líquido, en dos grupos: si el LL es menor de 50%, se le añade al símbolo genérico la letra L (baja

compresibilidad), mientras que a los suelos con LL mayor a 50%, se les agrega al símbolo genérico la letra H (alta compresibilidad). Los suelos que contienen una gran cantidad de elementos orgánicos, suelos usualmente fibrosos, tales como turbas y suelos pantanosos, se consideran dentro de un grupo independiente con símbolo Pt.

- b) **Humedad.** Llamada normalmente Contenido de Agua, es la propiedad que resulta de relacionar el peso del agua entre el peso de la fase sólida de una muestra de suelo. Esta es una de las propiedades de más fácil determinación y que en gran forma nos ayuda a prever el posible comportamiento de un suelo. El contenido de agua o humedad de un suelo, suele expresarse como un porcentaje y se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} (100) \quad (7)$$

donde:

W_m : Peso de la muestra húmeda

W_s : Peso de la muestra seca

$W_w = W_m - W_s$

El contenido de agua varía teóricamente de cero a infinito. En la naturaleza la humedad de los suelos varía entre límites menos amplios (véase Tabla 14).

Tabla 14

MATERIAL.	w (%)
Arena densa	19
Arcilla glacial saturada	40
Arcilla bentonítica	200
Arcillas compresibles (Cd. de México)	300- 600
Arcillas altamente compresibles	1000

- c) **Límites de consistencia.** Existen varios criterios para medir la plasticidad de las arcillas; sin embargo, el más aplicado es el de Atterberg, quien hizo notar que la plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino puramente circunstancial, y dependiente de su contenido de agua. De acuerdo a esto existen diferentes estados de los suelos finos en función de su contenido de agua: líquido, semilíquido, plástico, semisólido y sólido. Dichos estados son las fases por las que pasa un suelo al irse secando.
- d) **Granulometría.** El análisis consiste en separar y clasificar por tamaños el material del suelo. A partir de la distribución de los granos es posible formarse una idea de la graduación del material; un material graduado (de todos tamaños) tiende a ser impermeable; una cantidad del 10% de partículas menores que pasa la malla No. 200 en arenas y gravas puede hacer que el suelo sea virtualmente impermeable. Los suelos gruesos cuando carecen de finos son permeables. A medida que una arena se hace más fina y más uniforme decrece su permeabilidad.

e) **Contenido de materia orgánica.** En general, el color negro y otros tonos oscuros suelen ser indicativos de la presencia de materia orgánica coloidal; el olor, en suelos orgánicos, es particularmente intenso si el suelo está húmedo, y disminuye con la exposición al aire, aumentando, por el contrario, con el calentamiento de la muestra húmeda.

f) **Porosidad.** Es la relación que existe entre el volumen de vacíos de un suelo y el volumen de su masa. Físicamente, la porosidad representa que tantos huecos tiene una muestra. La porosidad de un suelo se expresa normalmente en porcentaje, y teóricamente sus valores van desde 0 hasta el 100% (aire).

La porosidad se expresa como:

$$n = \frac{(Vol. Total) - (Vol. Sólidos)}{Vol. Total} (100) \quad (8)$$

Algunos valores típicos de la porosidad aparecen en la Tabla 15:

g) **Peso volumétrico.** Es el cociente del peso total de la muestra entre el volumen de la misma. Sus unidades usuales son ton/m³ y se expresa como:

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m} \quad (9)$$

donde:

γ_m : Peso volumétrico (ton/m³)

W_m : Peso de la masa (ton)

V_m : Volumen de la masa (m³)

Tabla 15

MATERIAL	n (%)
Arenas y gravas	35 - 50
Arenas apisonadas	25 - 30
Pizarras y arcillas pizarrosas	0.5 - 8
Arcillas	44 - 47
Tierras vegetales	37 - 65

Para tener una idea de los valores reales del peso específico, en la Ciudad de México éste es de aproximadamente 1.2 ton/m³, mientras que el de una arena compacta es de alrededor de 2.0 ton/m³.

h) **Capacidad de intercambio catiónico.** Es la capacidad de un suelo para intercambiar cationes expresado como la suma de los cationes intercambiables. La capacidad de intercambio catiónico es expresado en miliequivalentes por 100 g de suelo seco (mEq/100g). Esta característica del suelo indica su habilidad para atenuar algunos contaminantes, particularmente metales pesados; sitios con una capacidad mayor de 25 mg/100 g pueden ser considerados como buenos.

i) **pH.** Indicativo de acidez y alcalinidad (pH 7 = Neutro). Caracteriza la tendencia de un suelo para absorber metales pesados de acuerdo con la Tabla 16.

Tabla 16

pH	CLASIFICACION
> 6.5	Buenos
5 - 6.5	Moderados
< 5	Regulares

3.2.1.3 Permeabilidad.

El coeficiente de permeabilidad de un suelo es un dato cuya determinación correcta es de fundamental importancia para el proyectista. Está dado por la expresión:

$$k = \frac{Q}{A} (\Delta h / \Delta l) \quad (10)$$

donde:

k : Coeficiente de permeabilidad (cm/seg).

Q : Caudal o flujo (cm³/seg).

A : Área (cm²).

Δh/Δl : Pendiente hidráulica (milésimas).

El coeficiente de permeabilidad (k) para diferentes tipos de suelos, puede alcanzar valores como los que se indican en la Tabla 17.

Tabla 17

MATERIAL	k (cm/seg)
* Grava limpia	10 ² - 10 ⁹
* Arenas limpias y mezcla de grava	10 ⁰ - 10 ⁻³
* Suelos impermeables modificados por los efectos de la vegetación e intemperismo.	10 ⁻² - 10 ⁻⁷
* Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla moreno glacial, depósitos estratificados de arcilla, etc.	10 ⁻³ - 10 ⁻⁷
* Suelos impermeables, arcillas homogéneas bajo la zona de intemperización.	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁹

Las pruebas de permeabilidad pueden agruparse como sigue:

a) DE CAMPO.

i) **Pozos de absorción.** Se trata de pozos de 20x30x30 cm, excavados en lugares representativos; los pozos se espacian 50 m o bien, cuatro en cada hectárea.

Cada pozo se llena con agua unas tres veces antes de tomar las lecturas, para saturar el terreno circundante. Se puede dejar el agua toda la noche, con el mismo objeto, después de lo cual se vuelve a llenar el pozo. Se determina el tiempo de infiltración como indicio de la permeabilidad. Esta prueba es representativa de una capa de material de un metro.

Si el descenso total del agua se realiza en menos de una hora, se puede decir que el terreno es permeable e inadecuado. Si el agua tarda más de una hora en

infiltrarse totalmente, el terreno puede ser bueno. Un manto es prácticamente impermeable si el agua tarda más de 24 horas en ser absorbida completamente. A partir del tiempo de infiltración se calcula el volumen de infiltración, en m^3/m^2 .

- ii) **Pozos de filtración.** Se excavan dos pozos a una distancia de 1.0 m cada uno, se llenan de agua y así se mantienen con una diferencia de nivel de un metro. La permeabilidad en este caso se calcula por medio de redes de flujo.
- iii) **Pozos en material homogéneo.** Se excavan tres pozos instalando en uno de ellos un equipo de bombeo, y se mide el abatimiento del nivel freático en los otros dos.
- iv) **Pozos de bombeo y Lefranc.** Se usan en materiales gruesos (gravas y arenas) situados abajo del nivel freático, cuyas características mecánicas impiden la obtención de muestras inalteradas; el primero presenta la gran ventaja de proporcionar datos confiables en pruebas de duración reducida respecto a la necesaria para alcanzar el flujo estacionario, mientras que la segunda se realiza con el fin de obtener datos más locales.

b) DE LABORATORIO.

Existen varios procedimientos para la determinación de la permeabilidad de un suelo: unos "directos", que se basan en pruebas cuyo objetivo fundamental es la medición de tal coeficiente, como en el permeámetro de carga constante y el de carga variable; otros "indirectos", proporcionados, en forma secundaria, por pruebas y técnicas que primariamente persiguen otros fines.

- i) **Permeámetro de carga constante.** Es el método más simple para determinar el coeficiente de permeabilidad de un suelo, y se utiliza en aquellos relativamente permeables como: grava, arenas y mezclas de arena y grava cuyos coeficientes de permeabilidad de 10^2 a 10^{-3} cm/seg. Para realizar esta prueba no se requiere mayor experiencia. El inconveniente del permeámetro es que en suelos poco permeables, el tiempo de prueba es demasiado largo haciéndolo impráctico.
- ii) **Permeámetro de carga variable.** La prueba se utiliza para determinar el coeficiente de permeabilidad de suelos relativamente impermeables, tales como: arenas y limos o mezclas de esos materiales, no plásticos. No se usa en arcillas porque el tiempo de prueba sería tan largo que la evaporación y los cambios de temperatura producen errores de mucha consideración; se usa la prueba de consolidación. El coeficiente de permeabilidad de estos suelos varía de 10^{-4} a 10^{-9} cm/seg. Para realizar esta prueba se requiere de mucha experiencia.
- iii) **Permeabilidad por capilaridad horizontal.** Se usa cuando los materiales tienen una permeabilidad comprendida entre 10^{-1} y 10^{-5} cm/seg. Es adecuada para ensayar con rapidez un buen número de muestras en el campo, requiriendo resultados no muy exactos.

3.2.1.4 Asentamientos.

Los asentamientos de un relleno sanitario pueden presentarse por uno o más de los siguientes factores:

1. Por la reducción en el volumen de vacíos y la compresión de materiales sueltos por el propio peso de desperdicio y el peso del material de cubierta.
2. Por el movimiento ocasional de partículas pequeñas en vacíos grandes, resultado del colapso de grandes cuerpos, filtraciones o vibraciones. Este tipo de movimiento puede causar una depresión en la superficie.
3. Cambios volumétricos por descomposición biológica y reacciones químicas, que son aceleradas por el alto contenido de humedad, altas temperaturas, bajo grado de compactación y una grande proporción de contenido orgánico.
4. Disolución de agua percolada y lixiviado.
5. Asentamiento de suelos blandos compresibles, colocados por debajo del relleno.

Los asentamientos por peso propio ocurrirán durante la construcción del relleno. Al aumentar la edad y la altura del mismo, el porcentaje de asentamiento por peso propio disminuye debido a que a grandes profundidades los organismos anaeróbicos reducen su tasa de descomposición (Ref. 7).

3.2.1.5 Taludes.

Los residuos sólidos tomarán su ángulo de reposo natural, en taludes, en función de la altura de la celda deseada; en otros casos, el ángulo no deberá tener más de 30° de inclinación. La capa final deberá contar con pendientes máximas del 2% con objeto de evitar encharcamientos y erosión por efecto del escurrimiento de agua pluvial.

3.2.2 Estudio geohidrológico

Es importante contar con un estudio geohidrológico con el fin de verificar datos previos y proporcionar información detallada para el diseño.

El primer requerimiento básico es un conocimiento más profundo de los suelos y la geología, que es realizada en la selección del sitio. Un buen geólogo (preferentemente con conocimientos de hidrología subterránea), debe ser contratado para examinar el sitio, elaborar un programa de pozos de monitoreo y obtener la información detallada sobre las condiciones geohidrológicas del lugar.

Con la información resultante del estudio se podrán conocer aspectos importantes para el diseño del relleno sanitario como lo es el flujo de agua subterránea, ya que puede sufrir efectos en su calidad por el probable lixiviado que se pudiera generar en el relleno; la posibilidad de contaminar agua susceptible de ser aprovechada o que ya es usada para abastecimientos de agua potable representa altos costos que deben tomarse a consideración.

El objetivo principal del estudio es la localización de los mantos acuíferos, así como su gasto de escurrimiento, velocidad, dirección de movimiento y los cortes estratigráficos de los suelos, de tal manera que se cuente con información acerca de la disponibilidad de tierra para cobertura y sus características geológicas, las cuales nos ayudarán a conocer el volumen disponible de material de cubierta y la línea de máxima excavación en la operación del relleno sanitario.

En algunas ocasiones las limitaciones económicas de los municipios impiden llevar a cabo un estudio geohidrológico completo realizado por especialistas.

Se deberán realizar sondeos hasta una profundidad de 20 metros o menos, si se encuentra un material impermeable; o bien con pozos a cielo abierto y mayores de 6 metros de profundidad cuando las condiciones lo permitan. Éstos deberán cumplir con lo que establece la tabla siguiente, en la cual se indica, según el área disponible, el número de pozos a excavar. El mínimo será cuando se encuentre un estrato impermeable; de estos sondeos y pozos podremos conocer la estratigrafía del suelo y se obtendrá una idea bastante aproximada de las condiciones del sitio como son profundidad del acuífero, permeabilidad y tipo de material.

ÁREA DEL SITIO (Has.)	NÚMERO APROXIMADO
Hasta 5	3
5 - 20	5 - 6
20 - 40	8 - 9
Más de 40	11 - 15

Generalmente este tipo de información la tiene la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (S.A.R.H.), ya que esta Dependencia ha realizado este tipo de estudios por toda la República Mexicana.

3.2.3 Levantamiento topográfico

Se deben dar las especificaciones técnicas generales para cualquier levantamiento topográfico; en cada caso particular y dependiendo del tipo de terreno, se determinan las variantes que puedan existir.

Una vez seleccionado el sitio del relleno sanitario, se siguen los lineamientos para determinar los parámetros que se usan para este tipo de trabajo, y que se presentan a continuación.

a) Planimetría

Se toma como base principal el entronque del acceso al relleno sanitario, con la vía de comunicación principal más inmediata por donde transitarán los camiones de recolección de residuos sólidos. Una vez definido este punto se une con una poligonal abierta al área del relleno sanitario, con la cual se obtiene el eje del acceso; con el último punto de esta poligonal y basándose en éste, se inicia el trazo de una poligonal cerrada, la cual limita el sitio elegido para el relleno sanitario.

La orientación de ambas poligonales se debe basar en una orientación astronómica, la cual se define al inicio de la poligonal abierta.

Las tolerancias permisibles para este tipo de trabajo son:

1) TOLERANCIA ANGULAR:

$$r\sqrt{N}$$

$$(11)$$

donde:

N : Número de vértices de la poligonal.

2) TOLERANCIA LINEAL:

1/3000

(12)

El levantamiento de las poligonales se dibuja en el tamaño de plano especificado por la entidad normativa (SEDESOL), y debe llevar las siguientes escalas:

- Terrenos de hasta 8 has.: Escala 1:500
- Terrenos mayores de 8 has: Escala 1:1000

b) Altimetría

Para el inicio de este trabajo se localiza un punto fijo, que sirva como banco de nivel arbitrario y de referencia para toda la altimetría. Este punto puede ubicarse en cualquier estructura fija de fácil localización cercana al terreno, como la base de un puente, vía de ferrocarril, carretera, etc. Todos los vértices de la poligonal envolvente deben ser monumentados, mismos que sirvan de banco de nivel auxiliares.

Una vez establecido el banco de nivel fijo se procede a correr una nivelación a lo largo de la poligonal abierta, con punto nivelado a cada 20 m como máximo, y menor a 20 en donde se detecte algún accidente topográfico del terreno para definir el camino de acceso.

Para definir las curvas de nivel se procede de la siguiente forma: se obtiene una copia reproducible del plano original de la poligonal envolvente y las curvas de igual nivel se trazan con base en las secciones transversales que anteriormente se procesaron.

Estas curvas de igual nivel se hacen de acuerdo a los siguientes lineamientos:

- A cada 0.50 m para sitios planos, hondonadas naturales y terrenos ligeramente sinuosos.
- A cada 1.00 m para sitios sinuosos, hondonadas profundas y valles escarpados.

c) Secciones.

Éstas se trabajan a partir de la estación 0+000 del camino de acceso, y son definidas con base en las estaciones que previamente se establecen en el perfil del camino. Estas deben ser perpendiculares al perfil longitudinal y deben abarcar una distancia de 20 m a cada lado.

Las tolerancias permisibles para este tipo de trabajo son las siguientes:

- Para nivelación de perfil longitudinal:

$$10\sqrt{n_i}$$

(13)

donde:

n_k : número de kilómetros.

La nivelación se corre de ida y de vuelta, partiendo del banco de nivel inicial, al último punto de la poligonal abierta.

El método de trabajo para definir la planimetría de la poligonal cerrada debe ser con base en un eje central que divida el terreno en dos, y ejes paralelos que cada 50 m, mismos que deben seccionarse transversalmente a cada 25 m como máximo, o menos, según lo amerite la topografía del terreno para superficies de 8 has y a 50 m, en terreno, en terreno mayor de 8 has.

A partir de los perfiles longitudinales y las secciones transversales obtenidas se puede calcular el volumen del sitio del relleno sanitario mediante la siguiente expresión:

$$V = \sum [D_i (A1 + A2) / 2] \quad (14)$$

donde:

V : volumen entre secciones.

Ds: distancia entre secciones.

A1: área de la sección número 1.

A2: área de la sección número 2.

Estos datos se ponen en un plano donde se obtiene la curva masa. Los métodos más usuales para el cálculo de volúmenes son:

- i) Mediante el uso de planímetro se pueden obtener perfectamente las áreas de cada una de las secciones, siempre y cuando el instrumento esté apropiadamente calibrado y se maneje con cuidado.
- ii) Mediante el uso de papel milimétrico. Éste método es más elaborado que el anterior, consiste en trazar las secciones en papel milimétrico con el objeto de realizar en él, los trazos de cómo va a quedar el nivel de desplante y el nivel final del relleno sanitario. Así, se puede contar el número de cuadros dentro de cada línea y poder calcular las áreas en estudio.

Para ambos casos se deberán considerar las escalas a las que se dibujaron las secciones, con objeto de obtener el volumen correcto.

CAPÍTULO 4: DISEÑO.

4. DISEÑO

De la misma forma que una obra de ingeniería, el relleno sanitario debe construirse después de haber elaborado un proyecto, cumpliendo con las leyes, reglamentos, normas y métodos de construcción apropiados. El objetivo general es la disposición final o depósito permanente de los residuos sólidos municipales en sitios y condiciones adecuadas para evitar daños a los ecosistemas; su objetivo específico es la recuperación de ciertas áreas.

Cuando se diseña un relleno sanitario, los objetivos que se deben alcanzar son los de proporcionar protección ambiental a largo plazo, asegurar obediencia a los reglamentos, y la utilización de mano de obra, equipo y espacio económicos.

El sitio seleccionado para un relleno sanitario requiere de características especiales.

El uso final del relleno sanitario debe también ser considerado durante la etapa de diseño; una buena planeación, minimizará costos y maximizará la utilidad del sitio después de su cierre. El uso final del relleno deberá ser compatible con el uso del suelo de la zona, así como de las limitaciones del relleno para sustentar estructuras. La mayoría de los rellenos se usan con propósitos recreativos, tales como áreas verdes, campos de golf o áreas protegidas.

En la Tabla 17 se resume el proceso de diseño. Los datos recolectados durante la selección del sitio serán incorporados al diseño, pero las condiciones cambiantes y la necesidad de más detalles pueden requerir una reevaluación, además de agregarse a la información previamente recolectada.

4.1 Reglamentación ambiental

Las normas del gobierno federal, estatal y local, generalmente son de dos tipos: normas de diseño o ingeniería y normas de operación.

Las normas de diseño son esencialmente códigos de construcción que describen cómo debe ser realizada la instalación; por ejemplo, el requerimiento de que un relleno sanitario nuevo debe tener una cerca perimetral de 1.80 m de alto que rodee a la instalación, según NOM-084-ECOL-1994 (Anexo). Aunque el cumplimiento de estas normas debería ser evaluado por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) mediante la inspección del sitio durante la etapa de construcción y operación, normalmente no se realiza, por lo que se deja al constructor y operador ese cumplimiento.

Las normas de operación son aplicables durante la vida de la instalación, y especifican que se debe alcanzar un cierto nivel de control ambiental. Por ejemplo, la Secretaría que regule la calidad del agua subterránea puede especificar la concentración máxima permisible de un contaminante en el agua subterránea inferior o adyacente al sitio. El encargado de operar el sitio debe incorporar los sistemas necesarios de control para cumplir con las normas para aguas subterráneas. Si la instalación diseñada inicialmente no cumple con dichas normas, entonces se deben instalar sistemas adicionales de protección.

Tabla 17: Etapas en el diseño de un relleno sanitario.

<p>1. Determinación de las cantidades de desperdicio sólido y sus características.</p> <p>a) Existentes.</p> <p>b) Proyectadas.</p>
<p>2. Recopilación de información de sitios potenciales.</p> <p>a) Levantamientos topográficos.</p> <p>b) Preparación de planos con sus condiciones existentes.</p> <p>c) Recopilación de información hidrogeológica y geotécnica, preparación de esquemas de localización. SUELOS: clasificación, profundidad, textura, estructura, espesor, porosidad, permeabilidad, humedad, facilidad de excavación, estabilidad, pH, capacidad de intercambio catiónico. ROCA: profundidad, tipo, presencia de fracturas. AGUA SUBTERRÁNEA: profundidad promedio, cambios por temporada, gradiente hidráulico y dirección del flujo, tasa de flujo, calidad y usos.</p> <p>d) Recopilación de información climatológica: precipitación, evaporación, temperatura, y dirección del viento.</p> <p>e) Identificación de reglamentos: federales, estatales y locales.</p> <p>f) Estándares de diseño: frecuencia de las cubiertas, distancia hasta las viviendas, caminos, agua superficial y aeropuertos, monitoreo, nivel de calidad de acuíferos.</p>
<p>3. Diseño del área de relleno.</p> <p>a) Selección del método de relleno en base a la topografía del sitio, tipo de suelo o roca, y agua subterránea.</p> <p>b) Dimensionamiento: ancho de la celda, profundidad, longitud, profundidad del relleno, espesor de la capa, espesor de la cubierta de suelo temporal, espesor de la cubierta de suelo final.</p> <p>c) Especificaciones de operación: uso del suelo de cubierta, método de aplicación de la cubierta, necesidad de acarreo de suelo, requerimientos de equipo y de personal.</p>
<p>4. Características del diseño.</p> <p>a) Control de lixiviados.</p> <p>b) Control de biogás.</p> <p>c) Control del agua superficial.</p> <p>d) Caminos de acceso.</p> <p>e) Áreas de trabajos especiales.</p> <p>f) Estructuras.</p> <p>g) Cercas.</p> <p>h) Iluminación.</p> <p>i) Pozos de monitoreo.</p> <p>f) Estética.</p>
<p>5. Preparación del paquete de diseño.</p> <p>a) Desarrollo del plan para relleno: planes de excavación, plan de seguridad del relleno, plan de relleno terminado, y control de incendios, basura, vectores, olores y ruido.</p> <p>b) Cálculo del volumen de almacenamiento de desperdicio sólido, requerimientos de suelo y vida útil del sitio.</p> <p>c) Desarrollo del plan final del sitio: áreas normales de relleno, áreas de trabajos especiales, control de lixiviados, control de biogás, control de agua superficial, caminos de acceso, cercas, iluminación, pozos de monitoreo, estética.</p> <p>d) Preparación de planos en altimetría con secciones de: relleno excavado, relleno terminado, fase de desarrollo del relleno en puntos provisionales.</p> <p>e) Preparación de los detalles de construcción: control de lixiviados, control de biogás, control de agua superficial, caminos de acceso, pozos de monitoreo.</p> <p>f) Preparación del plan para uso final del terreno.</p> <p>g) Estimación de costos.</p> <p>h) Preparación del reporte de diseño.</p> <p>i) Aseguramiento del impacto ambiental.</p> <p>j) Envío de documentos para la obtención de permisos requeridos.</p> <p>k) Preparación del manual de operación.</p>

Tomada del la Ref. 11

El Artículo 6º, Sección XIII de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, LGEEPA (Ref. 8), declara que es competencia de las entidades federativas y municipios, la regulación del manejo y disposición final de los residuos sólidos que no sean peligrosos. De aquí que las normas estatales sean particulares para cada estado, aunque usualmente son una copia de la Ley ya mencionada.

La obtención del permiso requerido para abrir y operar un relleno sanitario puede tomar varios meses, especialmente si existe controversia pública involucrada con el sitio.

Las normas deberán ser vistas sólo como requerimientos mínimos que especifican una base para el diseño y la operación. Los operadores de una instalación de disposición de desperdicios son responsables de cualquier daño ambiental y de la limpieza, durante varios años, después de que el sitio de disposición ha sido cerrado.

4.2 Factores para diseño

El criterio para diseñar el relleno sanitario se apoya en los siguientes factores:

- a) Tipo de terreno.
- b) Procedimiento constructivo.

4.2.1 Tipo de terreno

Existen en general cinco diferentes condiciones topográficas de terreno que por sus características se prestan para la construcción y operación del relleno sanitario:

- a) Terreno plano. Con pequeñas pendientes (del 0 al 5%), como las mesetas y llanuras.
- b) Terreno ondulado. Su pendiente no es continua y presenta partes planas y partes con pendiente media, como los valles, es decir, terrenos con pendiente entre el 5 y 10%.
- c) Terreno escarpado. Con pendiente muy fuerte (mayores del 10%), como montañas, cerros y cañadas.
- d) Banco de material de préstamo abandonado. Terreno que se usó como banco de material y presenta grandes oquedades que pueden ir desde 5 a 15 m de profundidad.
- e) Combinado. Terreno que presenta dos o más variantes de los antes descritos.

4.2.2 Procedimiento constructivo

El procedimiento constructivo del relleno sanitario se seleccionará dependiendo de la topografía del terreno, el cual puede ser:

- a) Método de área.

- b) Método de trinchera.
- c) Método combinado.

La diferencia entre éstos es que el primero puede usarse en cualquier terreno disponible como bancos de materiales abandonados, inicio de cañadas, terrenos planos, depresiones y ciénegas contaminadas; el segundo se usa generalmente donde el nivel de aguas freáticas está profundo, las pendientes del terreno son suaves y las trincheras pueden ser excavadas utilizando equipos normales de movimiento de tierras.

4.2.2.1 Método de área

Consiste en depositar los residuos sobre el talud inclinado del sitio, compactándolos en capas inclinadas de 60 cm 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 el otro extremo, como se muestra en la Fig. 5. La excavación hacia la que el relleno es colocado puede ser natural o específicamente excavada para ese propósito.

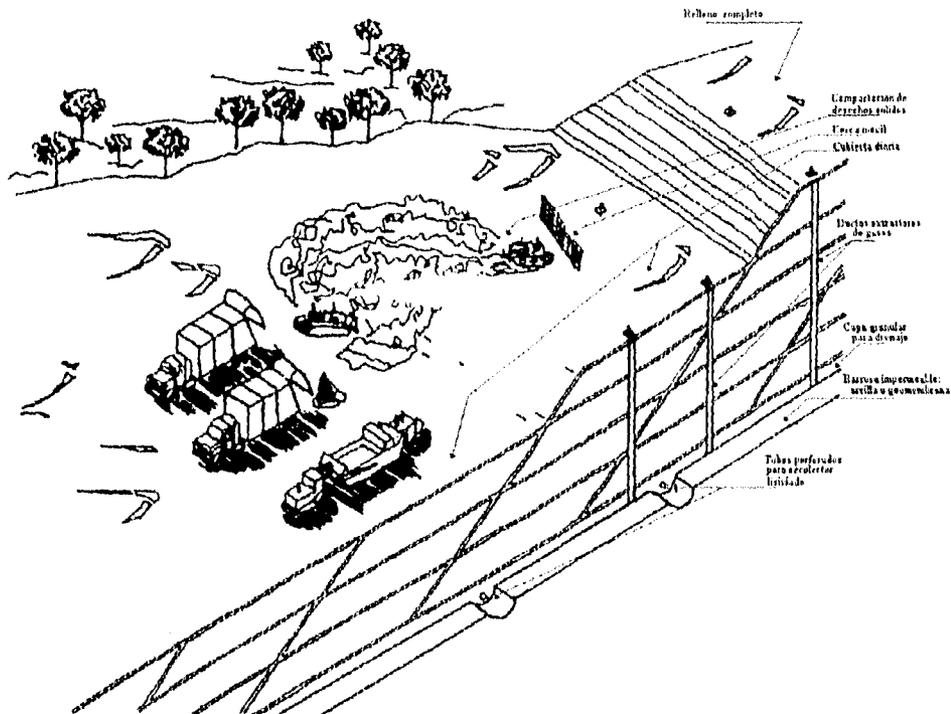


Fig. 5: Método de área.

Si se realiza la excavación, el suelo es temporalmente apilado. El desperdicio es colocado en forma superficial o, más comúnmente, en una capa de relleno esparcido en capas y colocado encima con equipo de compactación. Se construyen así capas sucesivas hasta que se alcanza una profundidad de 3.0 a 3.6 m.

Se recomienda la colocación de una capa intermedia de material de cubierta sobre y en los lados expuestos del desperdicio sólido compactado. El material de cubierta puede ser suelo o un material sintético, y generalmente es colocado al final de cada día de operación, o con más frecuencia. Existen excepciones a este procedimiento, como cuando es limitado el

equipo disponible en pequeños lugares, lo que resulta en coberturas menos frecuentes, o cuando un operador de un área extensa llena continuamente el área, en cuyo caso la cubierta intermedia puede no ser requerida. Las celdas deben ser cubiertas, entre otras razones, para evitar la proliferación de fauna nociva, malos olores que invadan todo el sector y que los residuos sean llevados por el viento fuera del relleno.

Para que el relleno sanitario sea económico, el material de cubierta debe encontrarse en lugares cercanos a éste.

Para que se cumpla la condición de relleno sanitario, al finalizar el trabajo diario se deben cubrir las celdas para evitar la proliferación de fauna nociva, malos olores y que los residuos sean arrastrados por el viento fuera del relleno.

4.2.2.2 Método de trinchera

El método de trinchera es similar al de área. Consiste en depositar los residuos sólidos sobre el talud inclinado de la trinchera (talud 3:1 (h:v)), donde son esparcidos y compactados con equipo adecuado, 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, como se muestra en la Fig. 6.

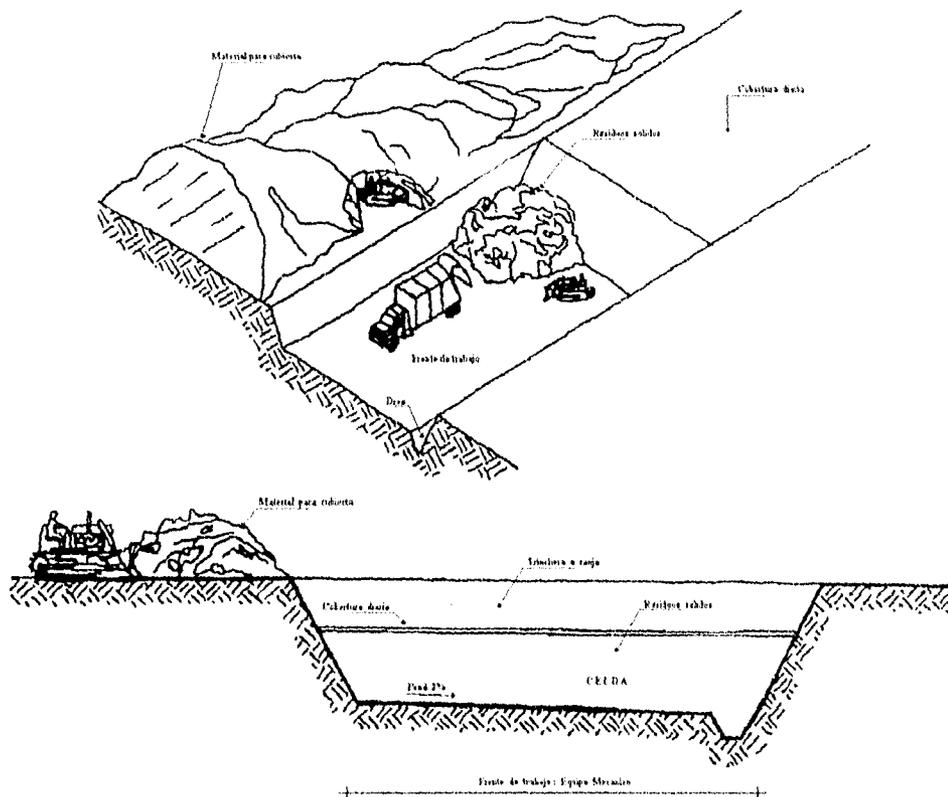


Fig. 6: Método de trinchera.

4.2.2.3 Método combinado

En algunos casos, cuando las condiciones geohidrológicas, topográficas y físicas del sitio elegido para llevar a cabo el relleno sanitario son apropiadas, se pueden combinar los métodos de área y el de trinchera. Por ejemplo, puede iniciarse con el método de trinchera y posteriormente continuar con el método de área en la parte superior. Otra variante del método combinado, consiste en iniciar con el método de área, excavando el material de cubierta de la base de la rampa, formando una trinchera que servirá también para depositar los desechos sólidos.

Se considera que los métodos combinados son los más eficientes, ya que permiten ahorrar el transporte del material de cubierta (siempre y cuando éste exista en el sitio), y aumentan la vida útil del mismo.

4.3 Información del sitio

La información del sitio es punto de partida para el inicio del proyecto; incluye datos geológicos, hidrológicos y geotécnicos en y alrededor de aquel. Los datos usualmente son recopilados durante la selección del sitio, y después mejorados durante las investigaciones subsecuentes. El tipo, número, localización, y profundidad de las exploraciones del subsuelo están determinados por las condiciones geológicas del sitio, y deben cumplir con las especificaciones establecidas para tal fin.

Con la información del subsuelo, los proyectistas pueden determinar si las condiciones de éste son apropiadas para la construcción del relleno sanitario. De preocupación particular es la potencial migración del biogas y del lixiviado, además de la factibilidad de usar los suelos existentes para revestimiento en la base del relleno y para cubierta.

En general existen cuatro tipos de condiciones geológicas (Fig. 7):

- 1) **Tipo A.** Corresponde a suelo moderadamente impermeable y con nivel freático profundo. En este caso, la preocupación principal es prevenir el drenaje excesivo de lixiviado del relleno. Los suelos nativos, que probablemente tendrán un alto contenido de arcilla, pueden ser usados como cubierta final. Dependiendo si la arcilla está fisurada, puede requerirse la recompactación del suelo para formar la base del relleno y así reducir su permeabilidad. Si el lixiviado se acumula en la base del relleno, puede extraerse mediante líneas de recolección. Un recurso importante es la capacidad atenuante de los suelos localizados por debajo de la base, los cuales reducen la potencial contaminación de los acuíferos.
- 2) **Tipo B.** Similar al anterior, pero con nivel freático somero. El relleno puede ser construido sobre el suelo de manera similar al Tipo D ó puede construirse una zona de saturación. Los suelos naturales son usados en la cubierta final, pero los del fondo del relleno sanitario, situados por debajo del nivel freático, no pueden compactarse. Los lixiviados son controlados mediante el uso de canaletas de

drenaje para inducir el flujo del agua subterránea hacia un sitio de recolección para su posterior disposición.

- 3) **Tipo C.** Sitios con suelos moderadamente impermeable y nivel freático profundo. Las preocupaciones principales en este tipo de sitios son la restricción de infiltraciones excesivas a través de la cubierta del relleno y la necesidad de instalar una capa en la base para asegurar la protección del agua subterránea. Debido a que muchos suelos permeables no proporcionan suficiente protección, puede ser necesario importar suelos arcillosos o usar cubiertas geosintéticas. Estos suelos con frecuencia serán materiales de construcción de buena calidad sobre los cuales se puede colocar la base del relleno.
- 4) **Tipo D.** Sitios con suelos moderadamente permeables y nivel freático somero, los cuales tienen un potencial de movimiento rápido de lixiviados, lo que hace necesario controlar el drenaje del relleno. Probablemente los suelos disponibles en el sitio no son apropiados para controlar la infiltración a través de la cubierta. La formación permeable restringirá la construcción por debajo del nivel freático. Si es imprescindible utilizar un sitio de este tipo, la técnica usual es la de construirlo casi en su totalidad por encima de la superficie original del terreno y la de importar materiales para cubierta intermedia e instalaciones como caminos pueden ser obtenidos en un lugar cercano.

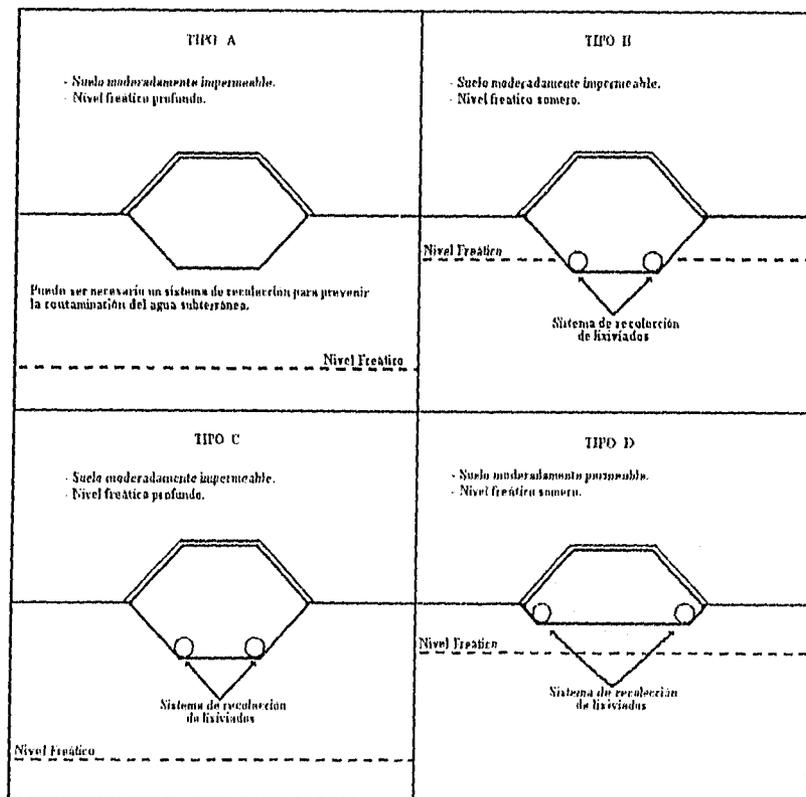


Fig. 7: Tipos de condiciones geológicas.

Además de los cuatro tipos citados, pueden existir otras condiciones geológicas en sitios propuestos para rellenos sanitarios. Así, la presencia de roca somera puede dificultar la excavación y complicar la protección de los acuíferos. Sitios con un subsuelo estratificado requerirán una evaluación cuidadosa para el diseño del relleno sanitario.

4.4 Sistema de control de lixiviados

Los elementos del sistema de control de lixiviados comprenden:

- a) La cubierta del relleno.
- b) Las estructuras de control del agua superficial que previenen que el agua penetre al relleno.
- c) La tubería de recolección.
- d) Los sistemas de detección.
- e) El sistema de disposición de lixiviados.

La selección de la mejor alternativa esta basada en el costo y disponibilidad de los materiales de cubierta, el posible detrimento del lixiviado que se drena en la base del relleno y el costo de tratamiento del lixiviado. Las restricciones normativas también influyen en la selección de las alternativas. El agua que se infiltra a través de la cubierta del relleno se asume que eventualmente alcanzará la base del relleno como lixiviado.

Una pequeña cantidad de lixiviado puede no tener efecto significativo sobre el agua subterránea. Algunos modelos computacionales para agua subterránea pueden predecir el flujo de lixiviados y los patrones de migración del contaminante. Sin embargo, la dificultad se presenta al seleccionar los parámetros de entrada para el modelo por las características químicas del lixiviado, y en la predicción de las reacciones químicas que ocurrirán mientras que el líquido se mueve a través del suelo.

La cantidad de lixiviado que se drena desde la base del relleno dependerá del tipo de capa, la manera como se instaló, y los procedimientos empleados para extraer ese líquido del relleno.

Los geosintéticos pueden complementar o ser usados en lugar de capas de arcilla. El típico material geosintético (geomembrana HPDE) consiste en hojas flexibles con espesor de 1 a 2 mm, las cuales pueden ligarse a hojas adyacentes mediante unión térmica o química. Existen muchas configuraciones para instalar geosintéticos.

Las capas "compuestas" utilizan una combinación de geosintéticos y capas de arcilla. El geosintético es colocado inmediatamente encima de la capa de arcilla. La arena colocada sobre el geosintético transporta el lixiviado a los sistemas de recolección; alternativamente la arena puede ser reemplazada por un geosintético de alta resistencia con un espesor 1.27 cm capaz de transportar grandes cantidades de lixiviado hacia las tuberías de recolección.

Los rellenos con capas dobles de geosintético utilizan dos capas y sistemas de recolección de lixiviados. La capa superior recolecta los lixiviados y la inferior actúa como una capa de detección de fugas, en caso de que la superior se haya dañado y/o perforado.

Los sistemas de capas de arcilla o geosintético, ó su combinación, son costosos.

4.5 Celdas

Se llama celda a la conformación geométrica que se le da a los residuos sólidos municipales y al material de cubierta (tierra) debidamente compactado mediante un equipo mecánico (Figs. 8, 9 y 10).

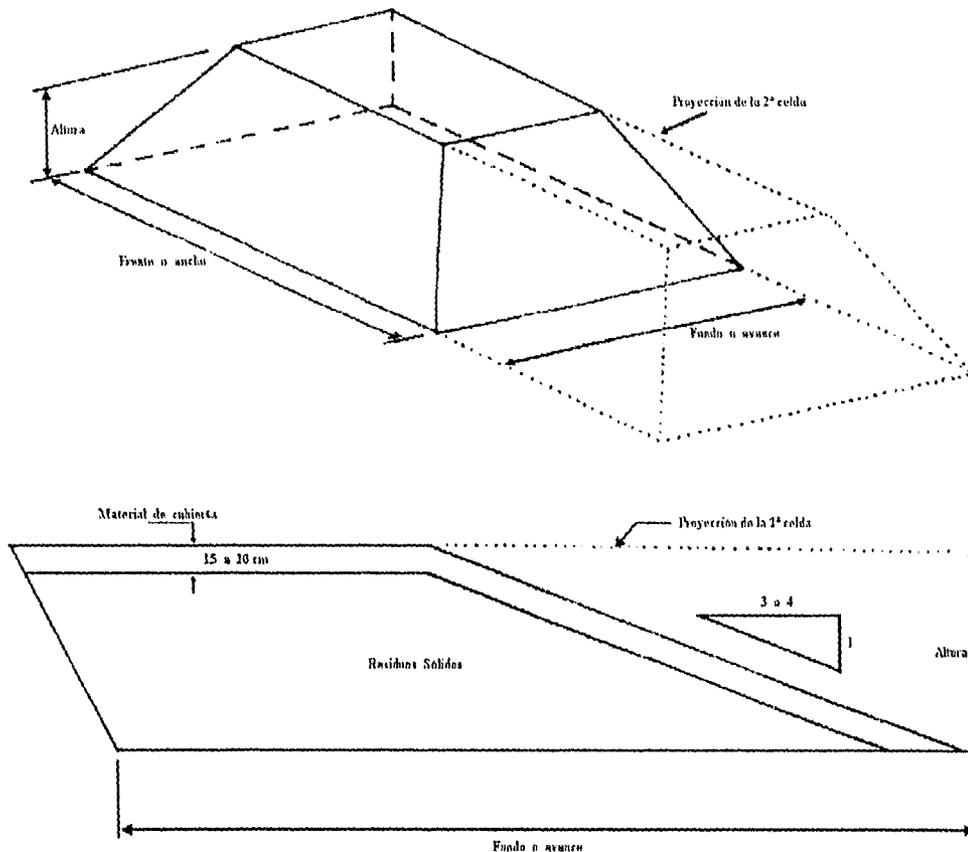


Fig. 8: Celda diaria.

Las celdas se diseñan conociendo la cantidad de residuos sólidos recolectados diariamente que llegan al sitio del relleno sanitario seleccionado. Los elementos de una celda son: su altura, largo, ancho del frente de trabajo, pendiente de los taludes laterales y espesores del material de cubierta diario, y del último nivel de celdas.

La altura de la celda depende de la cantidad de los residuos que se depositen, del espesor del material de cubierta (tierra), de la estabilidad de los taludes y de la compactación. Mientras más altas sean las celdas menor será la cantidad de tierra necesaria para cubrir los residuos, y mientras menor sea la altura de las celdas el relleno requerirá de mayor cantidad de material de cubierta.

El ancho mínimo de la celda, o mínimo frente de trabajo, dependerá de la longitud de la cuchilla del equipo que se emplee en la construcción. Se recomienda que el ancho mínimo

sea de 2 a 2.5 veces el largo de la cuchilla de la maquinaria. Este factor de aumento se considera para facilitar las maniobras de la maquinaria. En la Tabla 18 se presentan los valores para seleccionar el ancho mínimo de la celda.

Tabla 18: Ancho mínimo recomendada de celda o mínimo de frente de trabajo, dependiendo de la cantidad de residuos que lleguen al relleno.

Toneladas diarias de residuos que llegan al relleno	Potencia en caballos de fuerza (HP) del equipo.			Longitud de las cuchillas del equipo en metros	Ancho mínimo de las celdas en metros
	Traxcavo	Bulldozer	Cargador de neumáticos		
20 - 50	< 70	< 80	< 100	hasta 4.0	8
50 - 130	70 - 100	80 - 110	100 - 120	hasta 5.5	10
130 - 250	100 - 130	110 - 150	120 - 150	hasta 6.5	12
250 - 500	130 - 190	150 - 180	150 - 190	hasta 7.5	15

Tomada de la Ref. 6

El ancho de la celda o frente de trabajo también aumenta, dependiendo del número de vehículos recolectores que llegan en la hora pico, es decir, la hora del día en que arriba el máximo número de camiones a depositar los residuos para su disposición final.

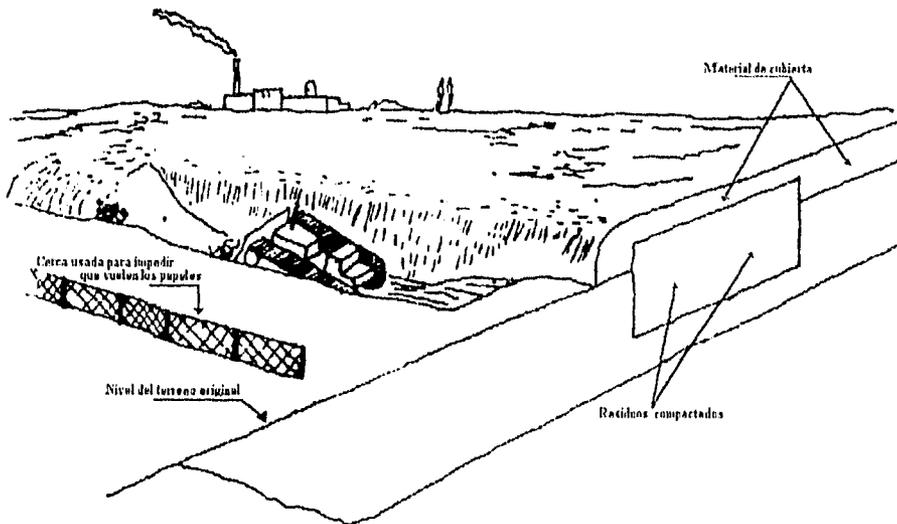


Fig. 9: Elementos de una celda.

En la Tabla 19 se proporcionan los valores de frente de trabajo recomendables, dependiendo del número de vehículos que lleguen al relleno en la hora pico para disponer los residuos.

Tabla 19: Frente de trabajo recomendable en un relleno sanitario.

Número de vehículos que llegan al relleno en la hora pico	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Frente de trabajo en metros	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48

Tomada de la Ref. 6

El talud de la celda es el plano inclinado en donde se apoyan los residuos y los equipos compactadores. Su inclinación se especifica mediante un ángulo o una relación que indica el número de unidades que se avanza en dirección horizontal por cada unidad que se avanza verticalmente (Fig. 8). Se recomienda que las celdas tengan un talud máximo de 3:1.

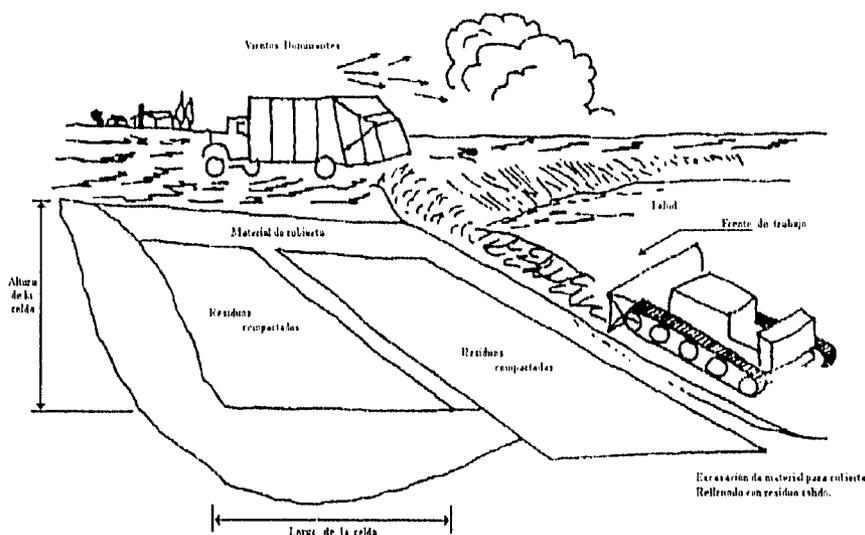


Fig. 10: Elementos de una celda.

En los métodos de trinchera existe únicamente un frente de trabajo tal como se ilustra en la Fig. 9, mientras que en los métodos de área y combinado pueden existir dos frentes de trabajo.

El material de cubierta que se ilustra en las Figs. 8, 9 y 10, es la tierra necesaria que cubre los residuos después de haberlos depositado, esparcido y compactado; este material, evita la proliferación de animales como ratas, insectos, moscas y mosquitos; malos olores producidos por la descomposición y la dispersión por el viento de los residuos fuera del relleno.

Se recomienda un espesor de 15 a 20 cm de tierra compactados entre los niveles de celdas y de 60 cm compactados en la capa final.

4.6 Diseño de la celda diaria

La celda diaria es la conformación de los residuos sólidos dispuestos en un día, incluyendo su cobertura con tierra, compactados a la mayor dimensión posible.

Las celdas se iniciarán en la parte más baja del sitio elegido, facilitando así la operación de compactación y cobertura. Estas celdas se van yuxtaponiendo diariamente, sirviendo de respaldo la primera de la segunda, ésta de la tercera y así sucesivamente.

Para el diseño de la celda diaria se deberá tomar en cuenta los siguientes elementos:

- Generación diaria de la comunidad.

- Peso volumétrico de los residuos sólidos compactados.
- Tierra de cubierta.
- Frente de trabajo.

En la pág. 19 se calculó la cantidad de residuos sólidos generados a disponer, la cual asciende a 410,629.08 kg/día.

Para calcular el volumen de residuos sólidos a disponer se necesita conocer el peso volumétrico de los residuos sólidos compactados, el cual depende de la maquinaria disponible. En la Tabla 20 y en el Proyecto de Norma NOM-084-ECOL-1994 (Anexo) se dan algunos valores usuales.

Aunque se debe obtener el peso volumétrico de los desperdicios de acuerdo con la Norma NMX-AA-19-1985 (Anexo), para fines de esta tesis se opta por usar un peso de 0.600 ton/m³, que corresponde a desperdicio municipal con una compactación moderada a buena, que es la que se obtiene aproximadamente en la práctica.

Así, el volumen de sólidos a disponer es:

$$VS = (410.62908 \text{ ton/día}) / (0.600 \text{ ton/m}^3)$$

$$VS = 684.38 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tabla 20: Pesos volumétricos de residuos sólidos.

DESCRIPCIÓN Y ESTADO	PESO VOLUMÉTRICO TOTAL kg/m ³
Desperdicio municipal	
Compactación pobre	289 - 321
Moderada a buena compactación	481 - 642
Buena a excelente compactación	882 - 962
In situ	561 - 706
Relleno de 30-40 pies de profundidad con 90-95% de tambores metálicos	1,444

Tomada de Ref. 9

El ancho definido por el número de camiones recolectores que depositan residuos sólidos en la celda es de 4 m por camión; el ancho recomendado para diferentes valores aparece también en la Tabla 19.

La altura de la celda será determinada en función del equipo a utilizar y tendrá repercusión directa en la cantidad de material de cubierta a utilizar; mientras más alta sea, menor será el material de cubierta. Para rellenos manejados con equipo se recomienda, dependiendo del volumen de residuos a disponer diariamente, alturas de 2 a 4 m.

Con lo anterior se propone utilizar los siguientes valores:

- Tierra de cubierta: 0.15 m
- Ancho mínimo de la celda: 15 m
- Altura de residuos sólidos: 3.0 m

Dados todos estos parámetros podemos definir la expresión:

$$A = AMC (H) \quad (15)$$

donde:

A : Área.

AMC : Ancho mínimo de la celda.

H : Altura.

Para nuestro caso tenemos:

$$A = 15 (3)$$

$$A = 45 \text{ m}^2$$

Considerando que la pendiente del talud es de relación 3:1, por semejanza de triángulos se tiene la expresión:

$$LB = \frac{(H)Hz}{Vt} \quad (16)$$

donde:

LB : Longitud de la base.

H : Altura.

Hz : Variación horizontal del talud.

Vt : Variación vertical del talud.

Sustituyendo tenemos:

$$LB = (3 \times 3)/1$$

$$LB = 9 \text{ m}$$

Con lo anterior, mediante el Teorema de Pitágoras, tenemos la siguiente expresión:

$$LT = \sqrt{H^2 + LB^2} \quad (17)$$

donde:

LT : Longitud del talud de la celda.

H : Altura.

LB : Longitud de la base.

Sustituyendo los datos se obtiene:

$$LT = 9.49 \text{ m}$$

Ahora bien, el volumen de la sección desarrollada por el talud está dado por la expresión:

$$V = \frac{H(LB)}{2} (AMC) \quad (18)$$

Por lo que sustituyendo los valores calculados hasta el momento se tiene:

$$V = ((3 * 9)/2) * 15$$

$$V = 202.50 \text{ m}^3$$

Conocida el área transversal de la celda podemos obtener su longitud diaria de la expresión:

$$VT = A (L) \quad (19)$$

donde:

VT : Diferencia entre el volumen de sólidos a disponer y el volumen de la sección desarrollada por el talud (VS-V).

A : Área.

L : Longitud diaria.

Despejando se obtiene la expresión:

$$L = VT / A \quad (20)$$

Sustituyendo,

$$L = \frac{VS - V}{A}$$

$$L = (684,38 - 202,50) / 45$$

$$L = 481,88 / 45$$

$$L = 10,71 \text{ m}$$

La longitud diaria será:

$$LD = L + LB$$

$$LD = 10,71 + 9,0$$

$$LD = 19,71 \text{ m}$$

El volumen de la sección rectangular está dada por:

$$VA = AMC (H) (L)$$

$$VA = 15 (3) (10,71)$$

$$VA = 481,95 \text{ m}^3$$

El volumen total será:

$$VT = VA + V$$

$$VT = 481,95 + 202,50$$

$$VT = 684,45 \text{ m}^3$$

Para el cálculo del volumen de recubrimiento se considera un espesor de 0.15 m. Entonces,

$$VR = (L + LT) (MC) (AMC)$$

$$VR = (10,71 + 9,49) (0,15) (15)$$

$$VR = 45,45 \text{ m}^3$$

El volumen final dado por los residuos sólidos por disponer y del material de recubrimiento está dado por:

$$VF = VS + VR$$

$$VF = 684,45 + 45,45$$

$$VF = 729,90 \text{ m}^3$$

El porcentaje que representa el recubrimiento con respecto al volumen total es:

$$\begin{aligned} PR &= VR / VF \\ PR &= 45.45 / 729.90 \\ PR &= 6.23\% \end{aligned}$$

La nomenclatura dimensional de la celda se presentan en la Fig. 11 siguiente:

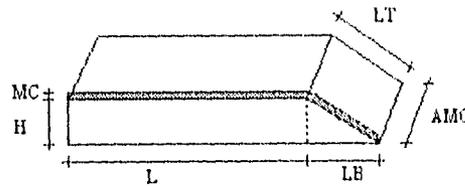


Fig. 11: Nomenclatura

4.7 Diseño de franjas

Se llama franja a un conjunto de celdas del relleno sanitario que se encuentra en una misma capa o nivel. Cada celda del relleno se unirá con la celda del día siguiente y ésta, a su vez, con la del tercer día y así sucesivamente hasta formar una hilera de celdas que se denomina franja.

Tomando en cuenta las franjas y las capas programadas, se deben considerar las obras de infraestructura, tales como caminos de acceso y drenaje. El diseño de las franjas, estará de acuerdo con la topografía de la localidad y su número dependerá de las dimensiones de la celda requerida diariamente para depositar los residuos sólidos. Será variable el número de celdas que se podrán unir para formar una franja, el sentido de su construcción irá de extremo a extremo y de la parte más alta a la parte más baja de la superficie del relleno.

Para su planeación, las capas se dividirán en franjas por ocupar durante periodos estacionales o mensuales, programando su uso; por ejemplo, para la estación de lluvias deberá programarse un lugar de fácil vertido para los camiones.

Después de formar la franja el equipo mecánico nivelará la altura de las celdas con material de cubierta.

Considerando en el ejemplo, los datos:

- a) Cantidad inicial de residuos sólidos a disponer = 410.629 ton/día
- b) Peso volumétrico de los residuos sólidos compactados = 0.600 ton/m³

El volumen de sólidos a disponer por día es:

$$\begin{aligned} VS &= 410.629 / 0.6 \\ VS &= 684.38 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

El área transversal y longitud de la primera celda:

$$\begin{aligned} A &= 15 (3) \\ A &= 45 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$L = 684.38 / 45$$

$$L = 15.21 \text{ m}$$

El volumen de recubrimiento y volumen de residuos de la primera celda:

$$V = VR + VS$$

$$V = 62.97 + 684.38$$

$$V = 747.35 \text{ m}^3$$

En un mes se construirán en promedio 30 celdas, por lo tanto el área y volumen de la franja será la siguiente: en un día se depositan 684.38 m^3 de residuos sólidos, en un mes se depositarán :

$$684.38 \text{ m}^3/\text{día} (30 \text{ días}) = 20,531.4 \text{ m}^3.$$

Conociendo el área transversal de la celda se obtiene la longitud que tendrá la franja en un mes.

$$A = 15 (3)$$

$$A = 45 \text{ m}^2$$

$$L = 20,531.4 / 45$$

$$L = 456.25 \text{ m}$$

El porcentaje de recubrimiento calculado para la primera celda, el cual incluye el material de cubierta y los residuos sólidos, es de:

$$PR = 62.97 / 747.35$$

$$PR = 8.43\%$$

Además, representa el 9.2% del material de cubierta con relación al volumen de sólidos a disponer, de acuerdo a la expresión:

$$(V.\text{Recub.} + V.\text{Sólido})/V.\text{Sólido} \quad (21)$$

Por lo tanto se tiene que:

$$\text{Material de cubierta} = 20,531.4 (0.092) = 1,888.89 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de sólidos} + \text{material de cubierta} = 20,531.4 + 1,888.89$$

$$\text{Volumen de sólidos} + \text{material de cubierta} = 22,420.29 \text{ m}^3$$

$$\text{Área requerida} = \text{Ancho de la celda} (\text{Longitud de la franja})$$

$$\text{Área requerida} = 15 (456.25)$$

$$\text{Área requerida} = 6,843.75 \text{ m}^2$$

4.8 Diseño de capas

Se llama capa al conjunto de celdas que ocupan un mismo nivel en un relleno. Las celdas se unen unas con otras para formar las franjas y éstas al irse juntando forman lo que

se denomina capa. Las capas se diseñan considerando la altura del sitio disponible para el relleno.

Para evitar infiltraciones pluviales y facilitar el escurrimiento del agua de lluvia, la superficie de las capas tendrá una pendiente del 1 al 2% a partir del eje longitudinal de la capa, teniendo la precaución de no dejar al descubierto los residuos ya sea por la acción del viento o escurrimiento de aguas superficiales o pluviales (Fig. 12).

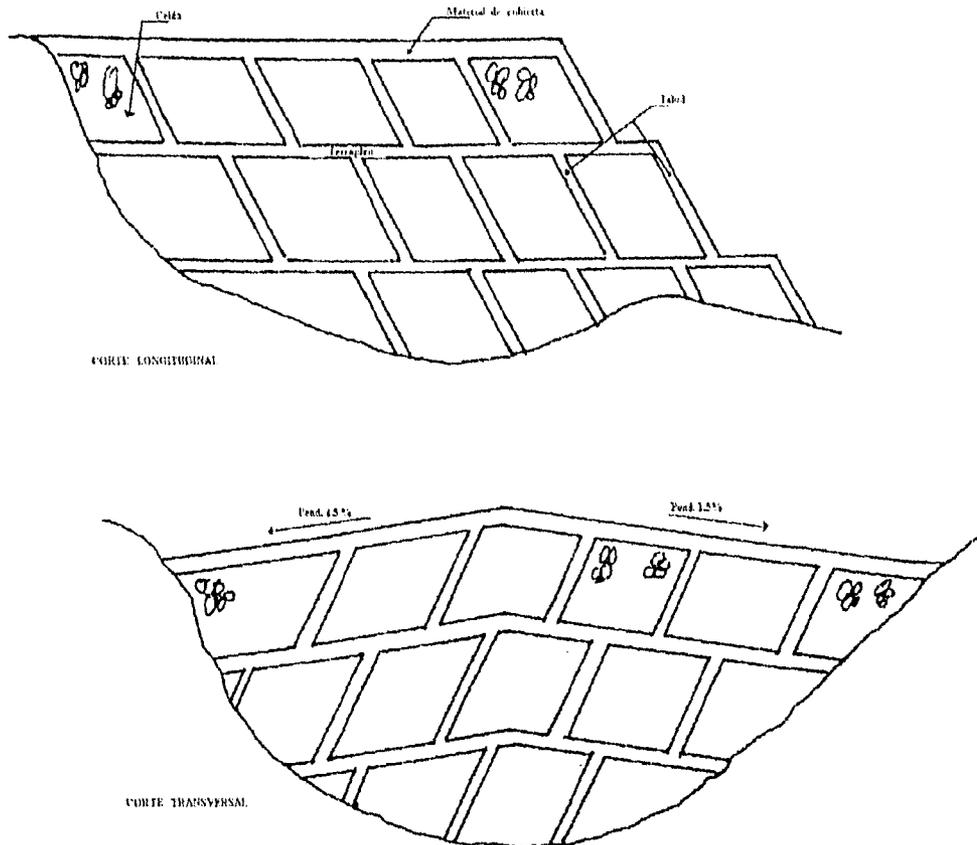


Fig. 12: Capa superficial con material de cubierta.

El criterio para establecer el espesor de las capas estará en función de la altura de la celda, así como del tipo de material existente para cubierta.

4.9 Material de cubierta

El material de cubierta tiene las siguientes funciones:

1. Impedir la entrada y salida de fauna nociva.
2. Reducir los malos olores.
3. Ayudar al control de incendios.
4. Evitar la entrada de agua.

Las pruebas experimentales han demostrado que una capa de 15 cm de arcilla arenosa, compactada, cumple con estos requisitos. La aplicación diaria de la cubierta reduce

grandemente la atracción de las aves sobre los desechos y los roedores en busca de alimento; es esencial para mantener una buena apariencia del relleno sanitario.

Algunos de suelos, cuando están debidamente compactados, muestran baja permeabilidad, no se contraen y pueden ser usados para controlar el agua que pudiera entrar al relleno e incrementar el volumen de lixiviado.

El control de la emanación de gases es también una función esencial del material de cubierta. Dependiendo de la profundidad planeada para el relleno, los gases pueden ser bloqueados o ventilados a través del material de cubierta. Un suelo permeable que no retenga mucha agua puede servir como un buen material para ventilar los gases. Arena limpia, grava chica o roca triturada son excelentes materiales cuando se mantienen secos. Si es necesario evitar que los gases salgan a través del material debe utilizarse un suelo impermeable con alta capacidad de retención de humedad.

La cubierta de los desechos también protege contra incendios. Casi todos los suelos son incombustibles, por lo que la cubierta y los taludes de cada una de las celdas del relleno ayudan a confinar el fuego dentro de ésta. El uso de un suelo compactable y de baja permeabilidad ofrece una buena medida para la prevención de incendios, ya que minimiza el flujo de oxígeno.

Para mantener una operación ordenada y de buena apariencia, también debe controlarse el acarreo de residuos por el viento. Casi cualquier tipo de suelo satisface este requerimiento, pero las arenas finas y limos con baja humedad pueden provocar polvo.

La cubierta frecuentemente sirve para el tránsito de vehículos. Cuando este sea el caso, deberá ser transitable bajo cualquier condición climática. En época de lluvias, la mayoría de las arcillas son suaves y resbalosas; en general, la última cubierta de suelo debe ser capaz de mantener vegetación.

La comparación de las características del suelo necesarias para estas funciones indica que hay ciertas contradicciones. Para ser transitable el suelo deberá tener buen drenaje y por otro lado tener una baja permeabilidad para evitar la infiltración de agua, evitar incendios y el venteo de gases. Estas contradicciones pueden ser resueltas poniendo una capa de material transitable encima de un material de baja permeabilidad. Una situación inversa ocurre cuando los gases deben ser venteados a través de la cubierta; en este caso, el suelo debe ser permeable a los gases, tener una baja capacidad de retención de humedad y no estar muy compactada. Los requerimientos de humedad y control de incendios implican también una baja permeabilidad. Es posible que se requieran instalaciones para la recolección y tratamiento de lixiviado si se utiliza un suelo de alta permeabilidad para ventear los gases; sin embargo, pueden utilizarse otros medios para ventilarlos.

Hay muchos suelos susceptibles de ser utilizados como material de cubierta. Diferencias menores en el tamaño de partículas o en la mineralogía de las arcillas pueden resultar significativas en el comportamiento de estos suelos. Diferentes métodos de

compactación y colocación de un mismo suelo pueden provocar comportamientos distintos; por ejemplo, el contenido de humedad durante su colocación es un factor crítico, ya que influye en su peso volumétrico, relación de vacíos, resistencia y deformabilidad.

Los suelos que se encuentran en el sitio del relleno deberán muestrearse para su clasificación, entonces puede estimarse el volumen de un suelo apropiado para utilizarse como cubierta y determinarse la profundidad de excavación para la disposición de desechos.

Los suelos arcillosos son de textura muy fina a pesar de que comúnmente contienen cantidades moderadas de arena y limo. Varían grandemente en sus propiedades físicas que dependen no únicamente del tamaño de partícula sino también del tipo de minerales y el contenido de agua. Cuando están secos, pueden ser casi tan duros como una roca y soportar grandes cargas; cuando están húmedos, se vuelven suaves y chiclosos o resbalosos, y son difíciles de manipular.

Las arcillas se expanden al humedecerse y su permeabilidad es mínima. Muchas arcillas pueden absorber grandes cantidades de agua pero al secarse generalmente se contraen y se agrietan. Estas características hacen a muchas arcillas menos apropiadas que otros suelos para material de cubierta. Las grietas que generalmente aparecen permiten la infiltración de agua y el escape de gases, así como la entrada y salida de insectos y ratas. Sin embargo, pueden utilizarse para ciertas aplicaciones especiales en un relleno sanitario. Si se desea construir un revestimiento o cubierta impermeable para controlar lixiviados y venteo de gases, muchas arcillas pueden ser compactadas a una humedad óptima. Una vez colocadas, generalmente es necesario mantenerlas húmedas para que no se agrieten.

Lo apropiado de un material de grano grande (grava o arena) depende fundamentalmente de su granulometría, forma de partícula, y la cantidad de arcilla y partículas finas presentes. Por ejemplo, si la grava tiene una mala graduación y está relativamente libre de partículas finas, no es apropiada para controlar la humedad, gas o insectos, no se puede compactar bien, y es por lo tanto porosa y altamente permeable; esto permite la infiltración de agua y la proliferación de insectos. Por otro lado una capa de grava de no más de 15 cm de espesor, probablemente evitaría la entrada de ratas y otros roedores. Si la grava tiene una buena graduación y contiene de 10 a 15% de arena y 5% o más de partículas finas, puede servir como un excelente material de cubierta. Cuando se compactan las partículas gruesas se mantienen en contacto por la acción de la arena, las partículas finas y la cohesión de las arcillas. La presencia de partículas finas disminuye en gran medida la permeabilidad. Una grava arcillosa, arenosa y bien graduada no se agrieta, controla moscas, roedores y malos olores, puede ser trabajada en cualquier situación climática y es un excelente material para el tránsito de vehículos.

La permeabilidad de suelos arenosos siempre es alta, aún si están bien compactados, y por lo tanto, no son apropiados para controlar la infiltración del agua, el venteo de gases ni el control de insectos. El suelo arenoso puede ser trabajado fácilmente, aún a temperaturas bajo el punto de congelación, mientras que un suelo con alta capacidad de retención de agua se congela.

Prácticamente los únicos suelos que deben evitarse como material de cubierta son la turba y los suelos con alto contenido de materia orgánica, debido a que son virtualmente imposibles de compactar. Los suelos con alto contenido de materia orgánica (más de 20%) son muy difíciles de compactar, pegajosos y su contenido de humedad puede provocar expansión, así como su falta de humedad provoca contracciones que producen agrietamientos.

En la Tabla 21 se definen las propiedades y usos de materiales típicos utilizados para material de cubierta. Como auxiliar se presentan las Tablas 22 y 23 con la clasificación y características de los suelos para uso en Rellenos Sanitarios.

4.10 Área requerida

Para un mismo volumen total de residuos sólidos y material de cubierta, mientras más capas de relleno existan, es decir mayor profundidad del relleno, menor será el área superficial del mismo. En otras palabras, si los residuos y el material de cubierta se disponen en una capa de celdas, el área superficie del relleno será mayor.

De acuerdo con la generación promedio al día por habitante calculada anteriormente se tiene:

- Nivel socioeconómico alto: 0.7866 kg/hab/día
- Nivel socioeconómico medio: 0.6792 kg/hab/día
- Nivel socioeconómico bajo: 0.5913 kg/hab/día
- Generación promedio: 0.6857 kg/hab/día
- Generación total por día: 410,629.08 kg

Considerando que el índice de generación de residuos aumenta en un ámbito del 3%, se selecciona un año futuro en que se desean depositar los residuos sólidos y se aplica la siguiente expresión:

$$G_{nf} = G_p (1 + rg)^{nf} \quad (22)$$

donde:

G_{nf} : Cantidad de residuos sólidos a disponer en el año "nf", en ton/día.

G_p : Cantidad de residuos sólidos presente a disponer, en ton/día.

nf : Número de años considerado a futuro.

rg : Tasa de incremento de generación y varía de 1% a 3%.

La cantidad de residuos sólidos anual $G_t(nf)$ para cualquier año futuro se calcula mediante la expresión:

$$G_t(nf) = 365 G(nf) \quad (23)$$

donde:

$G_t(nf)$: Cantidad de residuos sólidos para el año futuro "nf", en ton/año.

La cantidad de residuos sólidos total "Gt" de varios años, se calcula con la expresión:

$$G_t = G_t(nf) \quad (24)$$

Debido a que en 1989 se generan 410.629 ton/día de residuos, y la generación en los próximos 16 años consecutivos con una tasa de crecimiento o índice de generación del 3% anual, el volumen de residuos generados, aplicando la expresión 22, será:

- Al inicio de 1989: $G_0 = 410.629 \text{ ton/día}$
- Al término de 1989: $G_1 = 410.629(1 + 0.03)^1 = 422.948 \text{ ton/día}$
- Al finalizar 1990: $G_2 = 410.629(1 + 0.03)^2 = 435.636 \text{ ton/día}$
- Al finalizar 1991: $G_3 = 410.629(1 + 0.03)^3 = 448.705 \text{ ton/día}$
- Al finalizar 1992: $G_4 = 410.629(1 + 0.03)^4 = 462.166 \text{ ton/día}$
- Al finalizar 1993: $G_5 = 410.629(1 + 0.03)^5 = 476.032 \text{ ton/día}$
- Al finalizar 1994: $G_6 = 410.629(1 + 0.03)^6 = 490.312 \text{ ton/día}$
- Al finalizar 1995: $G_7 = 410.629(1 + 0.03)^7 = 505.022 \text{ ton/día}$
- Al finalizar 1996: $G_8 = 410.629(1 + 0.03)^8 = 520.172 \text{ ton/día}$
- Al finalizar 1997: $G_9 = 410.629(1 + 0.03)^9 = 535.777 \text{ ton/día}$
- Al finalizar 1998: $G_{10} = 410.629(1 + 0.03)^{10} = 551.85 \text{ ton/día}$
- Al finalizar 1999: $G_{11} = 410.629(1 + 0.03)^{11} = 568.406 \text{ ton/día}$
- Al finalizar 2000: $G_{12} = 410.629(1 + 0.03)^{12} = 585.459 \text{ ton/día}$
- Al finalizar 2001: $G_{13} = 410.629(1 + 0.03)^{13} = 603.022 \text{ ton/día}$
- Al finalizar 2002: $G_{14} = 410.629(1 + 0.03)^{14} = 621.110 \text{ ton/día}$
- Al finalizar 2003: $G_{15} = 410.629(1 + 0.03)^{15} = 639.740 \text{ ton/día}$
- Al finalizar 2004: $G_{16} = 410.629(1 + 0.03)^{16} = 658.930 \text{ ton/día}$

La generación que recibirá el relleno sanitario en 16 años será la siguiente:

$$GT = 365 \sum_{i=1}^{16} G_i \quad (25)$$

$$GT = 365(8525.288)$$

$$GT = 3'111,730.12 \text{ ton}$$

El volumen acumulado de los residuos sólidos (VRT) para el año "nf", se calcula con las expresiones siguientes, para uno y varios años respectivamente:

$$VRT = \frac{G_t(nf)}{P_v} \quad (26)$$

$$VRT = \frac{GT}{P_v} \quad (27)$$

donde:

VRT : Volumen acumulado de los residuos sólidos en el año "nf".

Pv : Peso volumétrico de los residuos sólidos en el relleno sanitario, en ton/m³.

Como desde un principio se ha utilizado un peso volumétrico de 0.600 ton/m³, entonces aplicando la expresión 27:

$$VRT = 3'111,730.12 / 0.600$$

$$VRT = 5'186,216.87 \text{ m}^3$$

Se calcula el volumen de material de cubierta (VM), el cual se estima entre un 20 y un 30% del volumen de los residuos sólidos. Para este caso consideraremos el 20%. Entonces:

$$\begin{aligned} VM &= 0.20 (VRT) \\ VM &= 0.20 (5'186,216.87) \\ VM &= 1'037,243.37 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Se calcula el volumen total (VT) de residuos sólidos y material de cubierta mediante la expresión:

$$VT = VRT + VM \quad (28)$$

donde:

- VT : volumen total de los residuos sólidos y material de cubierta, en m³.
- VRT : volumen acumulado de los residuos sólidos, en m³.
- VM : volumen de material de cubierta, en m³.

Aplicando la expresión 28, se tiene:

$$\begin{aligned} VT &= 5'186,216.87 + 1'037,243.37 \\ VT &= 6'223,460.24 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Por último se calcula el área del relleno sanitario por medio de la expresión:

$$A = \frac{VT}{H} \quad (29)$$

donde:

- A : Área del relleno sanitario, en m².
- VT : Volumen acumulado de los residuos y material de cubierta, en m³.
- H : Profundidad del relleno sanitario, en m.

Considerando una profundidad del relleno sanitario de 10 m, el área del relleno sanitario aplicando la expresión 29 será:

$$\begin{aligned} A &= 6'223,460.24 / 10 \\ A &= 622,346.024 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Entonces, el área requerido para el relleno sanitario es:

$$62-23-46.024 \text{ has}$$

4.11 Vida útil

Se llama vida útil de un relleno sanitario al tiempo en años que se utilizará un sitio seleccionado para la disposición final de los residuos sólidos de una comunidad. La vida útil del sitio depende del volumen disponible del mismo, de la cantidad de residuos sólidos a disponer y del método de operación.

El volumen a disponer de residuos es la cantidad originada por una fuente en un determinado tiempo. Su valor se obtiene multiplicando la población de la comunidad por el índice de generación (kilogramos de residuos generados por habitante y por día), y por la eficiencia de recolección. El índice de generación varía de 0.5 a 1 kg de residuos/habitante/día. La eficiencia de recolección se refiere al porcentaje de la población

total que goza de servicios de recolección y, en general, es difícil de encontrar poblaciones con valores superiores al 70%. En otras palabras, el volumen del sitio será ocupado por los residuos sólidos por disponer y por el material de cubierta (suelo) necesario (Fig. 13).

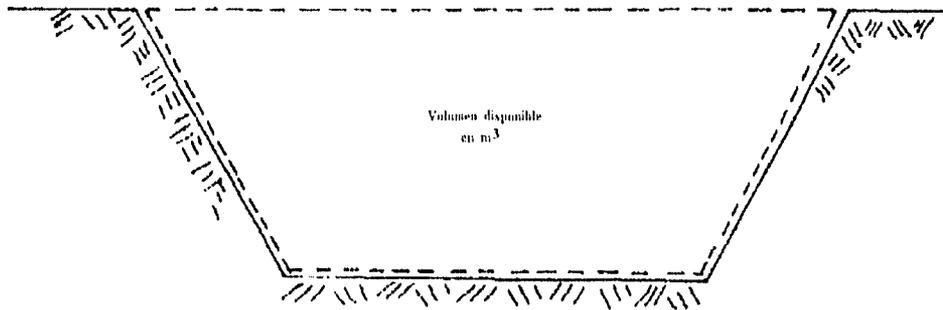


Fig. 13: Volumen disponible en una trinchera para disponer residuos sólidos.

Al seleccionar un sitio para el relleno sanitario se recomienda que tenga una vida útil suficiente, para recuperar la inversión efectuada en la disposición final de los residuos sólidos.

La expresión general para calcular la vida útil de un relleno sanitario es:

$$U = \frac{V_s}{365Gt} \quad (30)$$

donde:

U : Vida útil del relleno sanitario, en años.

V_s : Volumen del sitio seleccionado, en m³.

Gt : Cantidad de residuos sólidos recolectados en un tiempo determinado incluyendo el volumen del material de cubierta, en m³/día. (Fig. 14)

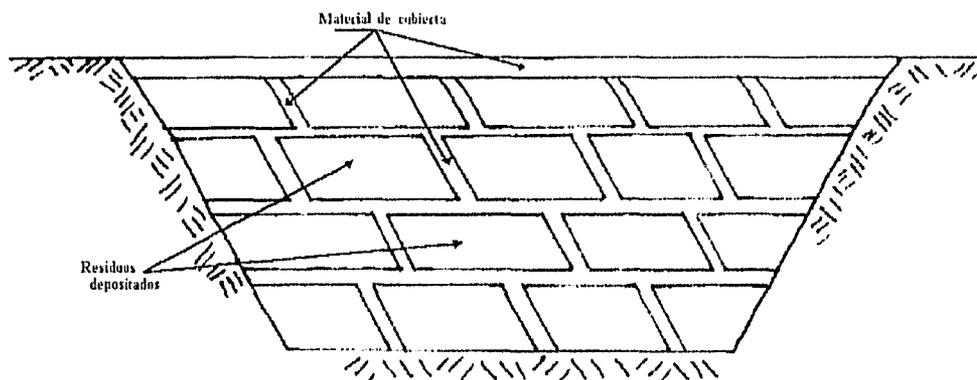


Fig. 14: Volumen del sitio ocupado por los residuos sólidos y las capas de material de cubierta.

La expresión anterior, puede desglosarse aún más:

$$U = \frac{V_s}{365(Gv + \%Gv)} \quad (31)$$

donde:

Gv : Cantidad de residuos sólidos a disponer, en m³/día.

%Gv : Porcentaje de Gv correspondiente al material de cubierta.

Si se selecciona un sitio con un volumen determinado, a medida que se recolecte mayor cantidad de residuos, la vida útil disminuirá; por el contrario, si se dispone menor cantidad de residuos en el relleno, su vida útil aumentará.

Ahora bien, para calcular la vida útil del relleno, se utilizarán los siguientes datos previamente calculados en el desarrollo de la presente tesis:

- Considerando que el sitio seleccionado tiene un volumen de: 6'223,460.24 m³

La cantidad de residuos sólidos recolectados en un tiempo determinado incluyendo el volumen de material de cubierta es:

$$410,629.08 (0.20) = 82,125.82 \text{ m}^3$$
$$410,629.08 + 82,125.82 = 492,754.90 \text{ m}^3/\text{año}$$

Finalmente, aplicando la fórmula general para calcular la vida útil de un relleno sanitario tenemos:

$$U = 6'223,460.24 / 492,754.9$$
$$U = 13.0 \text{ años}$$

Tabla 21: Adecuabilidad de varios tipos de suelo para su uso como material de cubierta en rellenos sanitarios

FUNCION	TIPO DE MATERIAL					
	GRAVA LIMPIA	GRAVA LIMO ARCILLA	ARENA LIMPIA	ARENA LIMO ARCILLA	LIMO	ARCILLA
Evita que los ruidores saquen suelo o hagan hoyos	G	F - G	G	P	P	P
Impide la salida de moscos.	P	F	P	G	G	E **
Minimiza la entrada de humedad al relleno sanitario.	P	F - G	P	G - E	G - E	E **
Minimiza la salida de gas a través de la cubierta del relleno.	P	F - G	P	G - E	G - E	E **
Dá una apariencia agradable y controla el vuelo de papces.	E	E	E	E	E	E
Soporta vegetación.	P	G	P - F	E	G - E	F - G
Salen gas del relleno sanitario.	E	P	G	P	P	P
Es permeable. ***						
E = Excelente G = Bueno F = Regular ** : Excepto cuando hay grietas a lo largo de toda la cubierta. *** : Sólo cuando está bien drenado.						

Tomada de la Ref. 10

Tabla 22: Características de distintos materiales.

MATERIAL	POROSIDAD n (%)	RENDIMIENTO ESPECÍFICO (%)	PERMEABILIDAD k (cm/sq)	ARCILLA (%)	LIMO (%)	ARENA (%)
Arcilla	45	3	4.72E-05	0 - 100	0 - 50	0 - 50
Arena	35	25	3.77E-02	0 - 20		
Grava	25	22	7.07E-01	-----	-----	-----
Grava y arena	20	16	9.43E-02	-----	-----	50 - 80
Areniscas	15	8	3.30E-02	0 - 20	0 - 50	50 - 80
Calizas, pizarras	5	2	4.72E-05	-----	-----	-----
Cuarcita, granito	1	0.5	4.72E-06	-----	-----	-----

Tomada de la Ref. 10

Tabla 23: Clasificación de suelos y características pertinentes para su uso en rellenos sanitarios.

SIMBOLOGÍA		NOMBRE	Evaluación cuando no están sujetos a heladas		Capacidad de congelamiento	Compresibilidad y expansión	Características de drenaje	Valores para terraplenes	Permeabilidad k (cm-seg)	Características de compactación	Prueba Proctor Estándar	Requisitos para control de la infiltración
Stilas	Color											
GW	Rojo	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	Excelente	Bueno	Nada a muy escaso	Casi nada	Excelente	Muy estables, talud permeable de diques y presas	$k > 10^{-2}$	Bueno, Tractor de neumáticos o de oruga	2000 - 2100	Control necesario
GP	Rojo	Gravas mal graduadas o mezcla de grava y arena, poco o nada de fino	Bueno a excelente	Pobre a regular	Nada a muy escaso	Casi nada	Excelente	Razonablemente estable, talud permeable de diques y presas	$k > 10^{-3}$	Bueno, Tractor de neumáticos o de oruga	1840 - 2000	Control necesario
GM	Amarillo	Gravas fangosas, mezcla de grava, arena y limo	Bueno a excelente	Regular a bueno	Escaso a medio	Muy escaso	Regular a pobre, pobre a prácticamente impermeable	No razonablemente estable, no particularmente adecuado para taludes pero puede ser usado para corozones impermeables y cubiertas	$k = 10^{-4}$ a 10^{-7}	Bueno, con control estricto, tractor de neumáticos, rodillo para de cabra	1920 - 2160	Con pizarra a ninguno
GC	Amarillo	Gravas arcillosas, mezcla de grava arena y arcilla	Bueno	Pobre	Escaso a medio	Escaso	Pobre a prácticamente impermeable	Escasamente estable, puede ser usado como corozones impermeable	$k = 10^{-4}$ a 10^{-7}	Regular, con control estricto, tractor de neumáticos, rodillo para de cabra	1640 - 2080	Ninguno
SW	Rojo	Arenas bien graduadas o arenas gravosas poco o nada de finos	Bueno	Pobre	Nada a muy escaso	Escaso	Excelente	Muy estable, las secciones permeables de la pendiente necesitan protección	$k > 10^{-2}$	Bueno con tractor	1740 - 2000	Control aguas arriba y abas de drenaje
SP	Rojo	Arenas pobremente graduadas o arenas gravosas poco o nada de finos	Regular a bueno	Pobre no utilizable	Nada a muy escaso	Casi nada	Excelente	Razonablemente estable, puede usarse en secciones de diques, con pendientes suaves	$k > 10^{-3}$	Bueno con tractor	1660 - 1820	Control aguas arriba y abas de drenaje
SM	Amarillo	Arenas fangosas, mezcla de arena y sedimento	Bueno	Pobre	Escaso a alto	Muy escaso	Regular a pobre, pobre a prácticamente impermeable	Escasamente estable, particularmente	$k = 10^{-4}$ a 10^{-7}	Bueno, con control estricto, tractor de neumáticos, rodillo para de cabra	1760 - 2000	Control aguas arriba y abas de drenaje

Tomada de la Ref. 10

Continuación Tabla 23: Clasificación de suelos y características pertinentes para su uso en rellenos sanitarios.

SIMBOLOGÍA		NOMBRE	Evaluación cuando no están sujetos a heladas		Capacidad de congelamiento	Compresibilidad y expansión	Características de drenaje	Valores para terraplenes	Permeabilidad k (cm/seg)	Características de compactación	Prueba Proctor Estándar	Requisitos para control de la infiltración
Siglas	Color											
SC	Amarillo	Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.	Regular a bueno.	No utilizables.	Escaso a alto	Escaso a medio.	Pobre a prácticamente impermeable	Escasamente estable, usado para corozones estables en estructuras de control de inundaciones.	$k = 10^{-2}$ a 10^{-7}	Regular con control estándar, tractor de neumáticos, rodillo para de cabra	1830 - 2000	Ninguno
ML	Verde	Sedimentos inorgánicos y arenas muy finas de descomposición de roca, fango de arena fina o arcillosos, o sedimentos arcillosos con plasticidad despreciable.	Regular a pobre.	No utilizable.	Medio a muy alto	Escaso a medio	Regular a pobre	Baja estabilidad, usado con control puede ser usado en taludes.	$k = 10^{-4}$ a 10^{-8}	Bueno a malo, control estándar, tractor con neumáticos o rodillos para de cabra	1500 - 1800	Con parjal a ninguno.
CL	Verde	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas sedimentos de arcilla y arcillas negras.	Regular a pobre.	No utilizable.	Medio a alto	Medio	Prácticamente impermeable.	Estable, para corozones impermeables y cubiertas.	$k = 10^{-7}$ a 10^{-8}	Regular a bueno, tractor de neumáticos, rodillo para de cabra	1820 - 1825	Ninguno
OL	Verde	Sedimentos orgánicos y sedimentos arcillosos orgánicos de baja plasticidad.	Pobre	No utilizable.	Medio a alto	Medio a alto	Pobre.	No adecuado para terraplenes	$k = 10^{-7}$ a 10^{-8}	Regular a malo, rodillos para de cabra	1280 - 1500	Ninguno
	Azul	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas	Pobre a muy pobre.	No utilizable.	Medio	Alto	Prácticamente impermeable	Baja estabilidad, corozones de presas, no deseado en la construcción de rellenos.	$k = 10^{-8}$ a 10^{-6}	Regular a malo, rodillos para de cabra	1120 - 1320	Ninguno
CH	Azul	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas	Pobre a muy pobre.	No utilizable.	Medio	Alto	Prácticamente impermeable.	Escasa estabilidad con pendientes muy suaves, corozones delgados secciones de diques y cubiertas.	$k = 10^{-8}$ a 10^{-6}	Regular a malo, rodillos para de cabra	1200 - 1680	Ninguno
OH	Azul	Arcillas orgánicas de mediana a alta plasticidad sedimentos orgánicos.	Pobre a muy pobre	No utilizable	Medio	Alto	Prácticamente impermeable	No adecuado para terraplenes	$k = 10^{-8}$ a 10^{-9}	Malo, muy malo rodillos para de cabra	1010 - 1500	Ninguno
PT	Naranja	Tierras y otros suelos altamente orgánicos.	No utilizables	No utilizable		Muy alto	No recomendado para la construcción de rellenos sanitarios					

Formato de la Ref. 10

**CAPÍTULO 5:
CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN.**

5. CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN

La operación de un relleno sanitario municipal esta determinada por muchos factores, los cuales varían de un sitio a otro. El plan de operación de un relleno, preparado como parte del procedimiento de diseño, sirve como el documento principal, pues proporciona los detalles técnicos del mismo así como los procedimientos para construir ingenierilmente los elementos constituyentes necesarios.

Debido a que un relleno se construye y opera durante varios años, es importante que el personal consulte continuamente dicho plan para asegurar el cumplimiento a largo plazo del mismo. Si los procedimientos de operación deben ser modificados, dichos cambios deben ser anotados con el fin de que se lleve una bitácora de acciones realizadas. Los cambios en los procedimientos de operación deberían necesitar la aprobación de la institución normativa, por lo que sería necesario realizar una revisión al plan de operación con el propósito de producir una transición suave entre las variaciones.

Después de recibir la aprobación del diseño de la instalación requerida por parte de las autoridades correspondientes, puede entonces comenzar la preparación y construcción del sitio. La Tabla 24 presentan las etapas a completar para la preparación y construcción del sitio. Sin embargo, en un lugar dado, dichos pasos puede no ser necesario seguirlos en el orden mostrado.

Tabla 24: Etapas para la preparación y construcción del sitio.

1. Desmante.
2. Despalme de la capa superficial de suelo.
3. Instalación del drenaje para aprovechamiento.
4. Excavación de áreas de relleno.
5. Apilamiento de materiales de cubierta diaria.
6. Construcción de instalaciones de protección ambiental (como se necesiten): a) Capas para relleno con sistemas de recolección de lixiviados. b) Sistemas de monitoreo del agua subterránea. c) Equipo para control de biogás. d) Equipo para monitoreo de biogás.
7. Preparación de caminos de acceso.
8. Construcción de instalaciones de apoyo: a) Edificio de servicios. b) Instalaciones para empleados. c) Báscula. d) Instalaciones de combustible.
9. Instalación de servicios públicos: a) Electricidad. b) Agua. c) Drenaje. d) Teléfono.
10. Construcción de cercas: a) Perimetrales. b) De la entrada. c) De la puerta y señal de entrada. d) Control de basura.
11. Preparación de los documentos de construcción (continuamente durante la misma).

Tomada de la Ref. 11

El desarrollo del relleno puede dividirse en etapas, algunas de las cuales se terminan muchos años después de la apertura del lugar. Todo trabajo deberá ser documentado. Este punto no se toma como debería hacerse, aunque puede ser invaluable cuando se presentan cuestionamientos referentes a cualquier adecuación futura del sitio de construcción y puede facilitar las reparaciones cuando sean necesarias.

Las guías mostradas en la Tabla 25 muestran consideraciones importantes para el momento en que el relleno sea puesto en operación.

Tabla 25: Reglas sugeridas para regular la operación de un relleno sanitario

1. Comenzar el relleno desde suelo profundo hacia suelo somero.
2. Llénese primero el lado de barlovento del sitio.
3. Desparramar cada carga de desperdicio y compactar bien, usando un compactador pesado de llantas, si se tiene disponible.
4. No depositar desperdicios en contra del muro de avance de la excavación.
5. Una vez que la carga de suelo haya sido levantada por maquinaria para el movimiento de tierras, no se descargue hasta que se especifique el lugar - donde quedará finalmente.
6. Mantener las áreas activas tan pequeñas como sea posible y rellenar hacia arriba hasta la capa final.
7. Usar el equipo apropiado y en forma correcta.
8. Construir caminos interiores de acarreo con buen drenaje y suficiente - sobre elevación.
9. Ubicar los caminos interiores sobre las áreas terminadas
10. Mantener los taludes de desperdicio intermedios con un talud 3:1 (h:v).
11. Mantener la superficie y el agua subterránea alejadas del desperdicio.
12. Mantener los camiones y el equipo fuera de cualquier área inactiva.

Tomada de la Ref. 11

5.1 Requerimientos de compactación

El grado de compactación es un parámetro crítico en la extensión de la vida útil de un relleno. Para alcanzar “in situ” altos grados de compactación del desperdicio, puede ser necesario utilizar un compactador. En los Proyectos de Normas Oficiales Mexicanas referentes a residuos sólidos municipales (ver Anexo) no se encontró algún parámetro de referencia para la compactación de los desperdicios. Aunque tampoco especifica el grado de compactación requerido para el material de cubierta, por aspectos constructivos se utiliza un 60 a 70% de la Prueba Proctor Estándar.

El número de pasadas que la máquina debe dar sobre los desperdicios para alcanzar la compactación mínima depende de la presión en las llantas de la máquina, compresibilidad del desperdicio, tierra y requerimientos de combustible, costos de mano de obra, y carga de trabajo. Generalmente se recomiendan de tres a cinco pasadas para alcanzar la compactación óptima “in situ” del desperdicio.

Aunque el dar más pasadas sobre el desperdicio lo compactará en un mayor grado, el esfuerzo disminuye después de seis pasadas.

La Fig. 15 muestra la relación entre el espesor de la capa de desperdicio, número de pasadas, y la densidad del desperdicio compactado encontrado en una prueba de campo para un tipo particular de máquina y procedimiento de operación. Cada relleno tendrá resultados diferentes, pero la forma de las curvas serán similares.

Nótese el rápido descenso en la densidad después de un espesor de aproximadamente 50 cm (1.5 pies). Además, la compactación de desperdicios sólidos más eficiente deberá estar en un número de capas delgadas hasta completar el espesor total de la celda y no en capas de espesor mayor a 60 cm (2 pies).

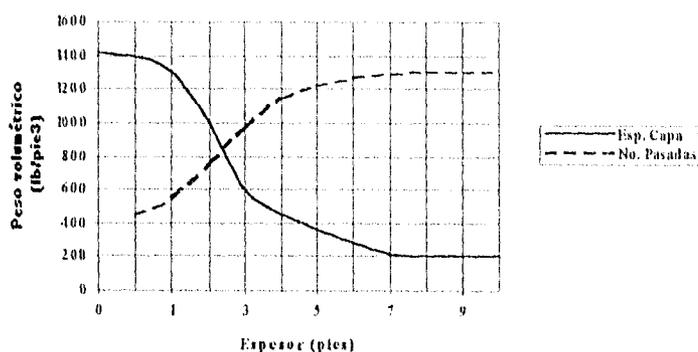


Fig. 15: Efecto del espesor de capa y las pasadas del compactador en la densidad.

La pendiente del frente de trabajo también afecta el grado de compactación alcanzado. Mientras que el talud aumenta, la presión de compactación vertical disminuye. El más alto grado de compactación es alcanzado en el menor talud. Sin embargo, la factibilidad de desarrollar frentes de trabajo con pendiente pequeña tiene que ser comparado contra el gran tamaño de área sobre la cual tiene que ser esparcido el desperdicio sólido.

5.2 Suelo ideal para el sitio

Los rellenos sanitarios deberán estar localizados en sitios de suelos poco permeables (ej. arcilla), los cuales restringen el movimiento de los lixiviados y del gas. Un relleno construido sobre una formación permeable como grava, arena, o roca fracturada pueden representar una amenaza significativa a la calidad del agua subterránea.

Si las únicas áreas disponibles tienen pocas condiciones óptimas para la construcción del relleno, puede ser necesario importar material al sitio para la construcción de las capas y de la cubierta; como alternativa existe la instalación de cubiertas de geomembranas.

En suelos arcillosos, donde el movimiento del agua es lento y el nivel freático es somero, un sistema de recolección de agua subterránea permitirá una exitosa operación del relleno. Normalmente este tipo de suelo sería excluido de la consideración, pero al establecer un criterio separado, y proporcionando diseños especiales puede construirse el relleno.

5.2.1 Construcción de la sub-base

La sub-base se refiere a la superficie del terreno sobre la cual se construirá el relleno. Es necesario compactar y nivelar la sub-base para que dicha capa sea construida con facilidad. Si el material de sub-base es arenoso entonces se deberá compactar del 85 al 90% de la densidad relativa. Debe notarse que la densidad Proctor versus el contenido de humedad no se mantiene en materiales de grano grueso. El peso volumétrico deberá verificarse en puntos de una cuadrícula de 30 m de distancia. Dependiendo del tipo de desperdicios, las propiedades del suelo y la confiabilidad en el contratista, se puede elegir usar una cuadrícula más pequeña o más grande. Un rodillo vibratorio puede ser usado para compactar suelo arenoso. Sin embargo, si la arena se encuentra en un estado denso la aplicación de vibración la aflojará, por lo que se recomienda verificar el peso volumétrico “in situ” antes de elegir el equipo de compactación; para determinarlo se puede usar un dispositivo nuclear u otro método estándar.

5.2.2 Construcción de capas

Generalmente se usan dos tipos de especificaciones para construcción. Una denominada “tipo de trabajo” en la que al contratista se le indica qué hacer y cómo hacerlo, y otra denominada “por desempeño”, en la que se requiere de un resultado final específico. La licitación para la primera será más baja comparada con la segunda, debido a que el contratista no gasta tiempo en investigar como hacer el trabajo o en contratar un técnico/ingeniero con el propósito de controlar la calidad.

En la construcción de capas puede ser riesgoso usar una especificación por “tipo de trabajo” debido a que todos los puntos de construcción y el control de calidad no se han estandarizado aún. Por ejemplo, el número de pasadas para compactar una capa de arcilla, especificada en el contrato, puede o no ser suficiente para obtener la densidad deseada. Además, este tipo de detalle deberá evitarse al preparar los documentos de licitación. Es esencial que sea utilizado personal independiente de control de calidad para mantener la calidad de construcción.

Se usan tres tipos de materiales para la construcción de capas: arcilla, suelo-bentonita, y membrana sintética (geomembrana HPDE). Las técnicas usadas para construir una capa usando los dos primeros materiales son muy similares, por lo que, la construcción con estos se agrupa en un solo punto.

5.2.2.1 Construcción de capas con arcilla y con suelo-bentonita.

El tamaño del terrón de la arcilla es importante debido a que el contenido de humedad del suelo antes de la construcción es menor que la humedad óptima para la que se propone la compactación. Humedecer la arcilla toma tiempo y si el tamaño del terrón utilizado en el campo para las pruebas de permeabilidad es mayor que el usado en el laboratorio, entonces toda la masa de arcilla puede no alcanzar el mismo contenido de humedad en un periodo corto. El tipo de equipo usado para compactación también juega un papel importante al desarrollar una baja permeabilidad. Se recomienda iniciar la compactación con un terrón de aproximadamente 2.5 cm de diámetro. Se pueden usar arados o discos para romper los terrones.

La compactación de arcilla debe hacerse con la humedad óptima. Debe permitirse un tiempo adecuado para asegurar una distribución uniforme de la humedad. Una distribución no uniforme en la capa de arcilla puede deberse a un terrón grande, distribución no uniforme de agua por los rociadores, e insuficiente "tiempo de curado" permitido para que penetre la humedad. Una vez iniciado el proyecto de construcción de una capa, debe terminarse por completo, porque si la construcción se detiene, deberá escaificarse y recompactarse.

Se usan tres tipos de rodillos para la compactación: 1) rodillo pata de cabra (autopropulsado o halado), 2) vibratorios (tambor liso o pata de cabra), y 3) con neumáticos. Se recomienda un rodillo pata de cabra no vibratorio para la construcción de una capa de arcilla debido a que puede proporcionar una compactación por amasado y además de que tiene la habilidad de romper los terrones. Un rodillo tipo vibratorio o rodillo de neumáticos puede no proporcionar el tipo deseado de orientación de las partículas para construir una capa de baja permeabilidad. La vibración puede aumentar temporalmente la presión de poro dentro de los terrones de arcilla, lo cual aumenta el esfuerzo cortante; como resultado se necesitará más presión para construir una capa uniforme, homogénea y bien compactada. La compactación estática produce una estructura con grandes poros. El uso de un rodillo pata de cabra pesado es preferido para compactar arcilla. El tamaño del relleno deberá ser considerado en la selección del equipo, debido a que un equipo grande necesita grandes radios de giro. Sin embargo, un equipo pequeño puede no proporcionar la presión requerida para alcanzar una capa de baja permeabilidad.

5.2.2.2 Construcción de capas con membrana sintética.

Los geosintéticos son materiales manufacturados de varios tipos de polímeros usados para mejorar, aumentar y hacer posible proyectos ambientales económicos. Son usados para proporcionar una o más de las siguientes funciones:

- Separación.
- Refuerzo.
- Filtración.
- Drenaje.
- Barrera de líquidos.

El geosintético más usado en los rellenos sanitarios es la Geomembrana HPDE, que son hojas de polímeros de alta densidad, impermeables, usadas como barreras para contener el desperdicio sólido. Se hace notar que nada es estrictamente impermeable en un sentido estricto, es decir, se habla de permeabilidad relativa comparada con otros materiales como la arcilla natural, la cual tiene usualmente una permeabilidad aproximada de 10^{-7} cm/s, mientras que la permeabilidad equivalente de una geomembrana oscila entre 10^{-11} a 10^{-13} cm/s.

Las actividades de construcción para instalar una membrana sintética no son tan estrictas como para las capas de arcilla, aunque las actividades durante su instalación son reducidas, es necesario tener extremo cuidado durante su instalación.

La sub-base debe ser preparada apropiadamente para la instalación de la membrana sintética. Debe compactarse de un 85 a un 90% de la densidad relativa para arenas, y 90% de la prueba Proctor modificada para arcilla o suelos mejorados. No debe contener

partículas mayores de 1.25 cm, ya que partículas mayores pueden causar protuberancias en la capa y perforaciones. Debe usarse un herbicida sobre la sub-base por debajo de la membrana para inhibir el crecimiento de vegetación. En ningún caso deberá permitirse a un vehículo circular por encima de la capa. Sólo se permite sobre la capa el equipo de junteo, equipo de prueba de junteo, y el número mínimo de personal necesario. Deberá verificarse que la sub-base no presente depresiones antes de colocarla. La colocación de la membrana deberá evitarse durante la ocurrencia de vientos con velocidades de 24 km/h o mayores. El junteo deberá realizarse dentro de la temperatura especificada por el fabricante.

La construcción deberá realizarse a temperaturas entre 4 y 27 °C debido a que la membrana absorbe calor fácilmente. Se necesita un traslape de 15 a 23 cm. Las membranas sintéticas se deterioran debido a los rayos ultravioleta, por lo que deberán ser cubiertos si se mantienen en el sitio con una cortina no transparente.

Las membranas sintéticas deben ser cubiertas con suelo o desperdicio tan pronto como sea posible, por lo menos deberán esparcirse sobre ésta 30 cm de espesor de arena. El suelo deberá formar una película para asegurar que el tamaño máximo de partículas sea 1.25 cm o menor, el cual deberá ser empujado cuidadosamente por un bulldozer ligero. Deberá evitarse tirar suelo sobre la membrana y deberán crearse una o dos rutas de acceso con 60 a 90 cm de suelo para el uso de equipo más pesado, con propósitos de movimiento de suelo. El daño de la membrana debido a tráfico puede ser severo, pero probablemente permanecerá sin detectarse. La primera capa de desperdicio deberá ser esparcido y compactado con vehículos ligeros. Es preferible no compactar los primeros 30 cm de desperdicio.

5.2.2.3 Construcción de mantos de drenaje con arena.

La construcción involucra más que sólo vaciar arena sobre la capa terminada. La arena deberá ser empujada cuidadosamente para que los vehículos no circulen directamente sobre la capa. Se deberá emplear un bulldozer ligero en esta operación. Si el manto de drenaje se construye sobre una capa sintética, deberá entonces tenerse sumo cuidado para protegerla. No debe usarse una capa de grava como material de drenaje debido a que los finos pueden emigrar y saturar el manto. Puede diseñarse un filtro graduado para utilizar este tipo de material.

a) Construcción de zanjas para recolección de lixiviados.

La localización de la línea para recolección de lixiviados deberá seguirse estrictamente. El espaciamiento de la tubería es un punto crítico para minimizar las fugas a través de las capas. Debe colocarse una tubería de recolección de lixiviados encima o dentro de la capa de la base del relleno sanitario. Cuando la tubería de recolección se instale en una zanja, deberá tenerse cuidado para asegurar que dicha zanja tenga la pendiente de diseño (0.5% mínimo) hacia la estructura de recolección. Si se instala una capa de membrana sintética sobre una capa de arcilla o suelo mejorado, entonces deberá usarse una pieza extra de membrana sintética, como lo muestra la Fig. 16. Debe evitarse el junteo de la membrana sintética en una distancia de 90 cm de la zanja de recolección de lixiviados. La grava usada en la zanja y la tubería de recolección deberán

colocarse cuidadosamente. La tubería de recolección deberá conectarse cerca del sitio de la zanja para que no se tenga que arrastrar sobre la capa de la base del relleno, ya que se puede rasgar la membrana sintética. Se recomienda que el manto de drenaje sea esparcido primero sobre la capa sintética, en toda su extensión excepto a los 15 cm de distancia de la zanja de recolección. Esto permitirá el movimiento de vehículos ligeros sobre la capa para colocar la grava y la tubería de recolección.

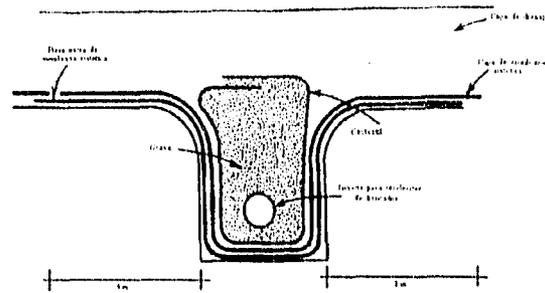


Fig. 16: Detalle de zanja de recolección de lixiviados con membrana sintética.

b) Construcción de dobles capas.

La construcción se guía para cada capa de material. En este caso, la construcción más difícil es aquella en que ambas capas son membranas sintéticas, ya que la membrana sintética inferior tiene mayor probabilidad de dañarse, lo que es difícil o casi imposible de detectar. La fuente principal de daño es probablemente por el tráfico vehicular, el cual se debe evitar al máximo durante la construcción de la capa principal.

c) Construcción de la cubierta del relleno.

La construcción de la cubierta es similar a la construcción de capas. La capa inferior a la de baja permeabilidad, llamada "capa de ventilación de gas", deberá construirse usando arena pobremente graduada (SW o SP). Se recomienda un análisis de tamaño de grano cada 400 m³ de material usado, con propósitos de control de calidad. La capa deberá ser compactada del 85 al 90% de la densidad relativa con el fin de proporcionar una sub-base firme para la capa de baja permeabilidad colocada encima. La densidad deberá probarse en una cuadrícula de puntos a cada 30 m.

La capa colocada encima de la de baja permeabilidad, llamada "capa de cubierta" deberá ser del tipo SM, SC o ML. Puede usarse una mezcla de suelo más fino con arena si no se dispone de suelo limoso. Con propósitos de control de calidad se recomienda un análisis por cada 765 m³ de material usado. Esta capa no deberá ser compactada para ayudar a la penetración de la raíz.

La colocación de la capa superior de suelo deberá ser hecha tan pronto como se termine la construcción de la capa de cubierta. No deberá permitirse la entrada

a equipo pesado sobre la superficie terminada. Deberá plantarse una combinación de césped y vegetación de tipo arbusto capaz de sobrevivir en estas condiciones.

5.2.3 Método constructivo de celdas

La localización del frente de trabajo y posteriormente las celdas, se identificarán por medio de señalamientos a base de estacas, que permitirán identificar los límites de los mismos y auxiliarán al operador del equipo mecánico a detectar la nivelación de las celdas cuando haya aumentado el nivel de ellos.

La construcción de la celda comprende las etapas siguientes:

a) Descarga de residuos sólidos.

1. El frente de trabajo deberá estar libre de obstáculos para agilizar la descarga de los camiones recolectores.
2. El camión de recolección se situará en el mismo nivel del piso de trabajo que corresponda, descargará los residuos sólidos y se retirará.
3. Los camiones no deberán permanecer dentro de la zona de maniobras.

b) Formación de la celda.

1. Los residuos sólidos serán empujados por el bulldozer hasta el sector donde iniciará la construcción de la celda, serán esparcidos o tendidos en capas de 40 cm de espesor, aproximadamente. Los residuos tomarán su ángulo de reposo natural, en taludes, en función de la altura de la celda descada; en otros casos, el ángulo no deberá ser mayor de 30° de inclinación.
2. La conformación de la celda con los residuos es para evitar su dispersión, conservando lo más angosto posible el frente de trabajo.

c) Compactación de los residuos.

1. Una vez tendidos los residuos, serán compactados con el equipo mecánico, pasando sobre ellos hasta en 4 ocasiones.

d) Extendido y compactación del material de cubierta de celdas.

1. Se colocará el material de cubierta, en cantidad igual al volumen de la celda, a un lado del frente de trabajo.
2. El bulldozer extenderá sobre los residuos, material de cubierta en dos capas de 15 cm de espesor cada una y las compactará con 4 pasadas sobre él.
3. En los taludes de las celdas, el material de cubierta deberá alcanzar un espesor máximo de 15 cm y será compactado con bulldozer.
4. En taludes exteriores, se recomienda ir sembrando pasto a medida que la celda alcanza la altura de proyecto, con objeto de evitar la erosión y deterioro de ella.
5. Las características del material de cubierta deberán ser de tipo inerte.

e) Pendientes para escurrimiento de agua pluvial.

La parte superior de la celda terminada deberá prepararse de tal forma que sobre ella se tengan pendientes no mayores de 2%, para facilitar el escurrimiento y salida del agua de lluvia.

5.3 Equipo para rellenos

La selección del tipo, tamaño, cantidad, y combinación de máquinas requeridas para esparcir, compactar, y cubrir el desperdicio depende de los siguientes factores:

- Cantidad y tipo de desperdicio a manejar.
- Cantidad y tipo de suelo para cubierta a manejar.
- Distancia de transporte del material de cubierta.
- Condiciones climatológicas.
- Requerimientos de compactación.
- Método utilizado en el relleno.
- Condiciones del sitio y del suelo, como topografía, humedad del suelo, y dificultades en la excavación.
- Tareas complementarias, tales como mantenimiento de caminos, asistencia a los vehículos de descarga, y movimiento de otros materiales y equipo alrededor del sitio.

La cantidad de desperdicio producido por una comunidad es la variable más importante al seleccionar el tamaño apropiado de maquinaria, es decir, el tipo de desperdicio a manejar es lo que más influencia el tipo de maquinaria a usar. La Tabla 26 muestra las necesidades de equipo de acuerdo a las cantidades de población y generación de desperdicios.

5.3.1 Uso del equipo

El equipo utilizado en rellenos sanitarios cae dentro de cinco categorías de acuerdo a su funcionalidad: construcción del sitio, movimiento y compactación de desperdicio, transporte de material de cubierta, colocación y compactación, y funciones de apoyo.

La construcción del sitio de relleno con frecuencia es hecho por contratistas. Si el trabajo es hecho por contratistas o por alguna dependencia municipal, es esencial implementar una buena dirección de construcción y una buena coordinación del equipo. El equipo convencionalmente usado para movimiento de tierras, incluyendo motoconformadoras, bulldozers, tractores, excavadores, camiones, y motoescrepas, se emplea también en los rellenos sanitarios. Puede ser necesario equipo especializado para la instalación de geosintéticos y capas de suelo. Estos incluyen tractores adaptados especialmente y grúas para mover el material sintético, además de equipo de compactación para la colocación de la capa de suelo.

El movimiento de desperdicio usualmente está confinado a desparramar dichos desperdicios en el frente de trabajo con compactadores o bulldozers, después de que éstos son depositados por el camión recolector. El movimiento de material en largas distancias se vuelve ineficiente con este tipo de equipo.

Diariamente el desperdicio compactado es cubierto con tierra y se comienza con una nueva celda. Una alternativa para la cubierta de suelo es el uso de espumas o mantas temporales. Las espumas requieren de equipo especializado de aplicación para rociar el material sobre el desperdicio compactado. Las mantas pueden ser colocadas en el lugar con una grúa, o con un tractor excavador especialmente equipado, y quitada al siguiente día antes de que comience la colocación de desperdicio.

En algunos lugares, los desperdicios pueden ser depositados en la parte más alta del frente de trabajo, haciendo más fácil de esparcirlos en el frente. El control de desperdicios pueden ser más problemático cuando se usa este procedimiento.

El equipo mecánico representa un papel muy importante dentro de la operación de los rellenos sanitarios, ya que prácticamente todo el movimiento de residuos sólidos y de materia de cubierta depende de él. En la Tabla 27 se muestran los tipos y usos de equipos empleados en rellenos sanitarios.

A continuación se hace una breve descripción de las funciones de los equipos que pudieran ser empleados en el relleno sanitario.

a) Cargador de orugas o neumáticos

- 1) Abrir zanjas en material blando (Tipo A)
- 2) Esparcir material de cubierta o residuos sólidos.
- 3) Triturar (bandear) materiales voluminosos.
- 4) Cargar material de cubierta en camiones.
- 5) Por su gran versatilidad es ideal para operar el relleno sanitario en cualquiera de sus métodos.
- 6) El cargador de neumáticos es más eficiente para desplazamiento entre 100 y 150 m. que el de carriles.

b) Tractor de orugas o neumáticos

- 1) Desmonte de terrenos.
- 2) Movimiento de material de cubierta.
- 3) Nivelaciones de terreno.
- 4) Movimiento de residuos sólidos.
- 5) Triturar (bandear) materiales voluminosos.
- 6) Es una máquina que nos permite hacer grandes movimientos de material en corto tiempo, con las consecuentes ventajas en cuanto a economía se refiere.

c) Rodillos de compactación.

Existen varios tipos de rodillos de compactación los cuales son: rodillos de compactación lisos, rodillos de compactación pata de cabra, rodillos de compactación tipo malla y rodillos de compactación para residuos sólidos.

Tabla 26: Necesidades de equipo por cantidades de población y generación de desperdicios.

Población *	Tonelaje Diario	No. de piezas	EQUIPO		
			Tipo	Peso (ton)	H.P.
0-7,500	0-20	Sólo 1	CD	6.81	80
			CL	9.08	70
			RTL	9.08	100
			SWC	N/A	N/A
7,500-18,000	20-50	Sólo 1	CD	6.81-9.08	80-110
			CL	9.08-11.35	70-110
			RTL	9.08-9.99	100-120
			SWC	El más pequeño disponible	
18,000-47,000	50-130	Sólo 1	CD	9.08-11.35	110-130
			CL	11.35-14.75	100-130
			RTL	10.21-12.48	120-150
			SWC	El disponible.	
47,000-91,000	130-250	Sólo 1	CD	13.62-15.89	150-180
			CL	11.35-20.43	150-190
			RTL	12.48-15.89	150-190
			SWC	13.62-19.07	150-190
91,000-182,000	250-500	1-2	CD	21.56-23.61	250-280
			CL	Combinación	
			RTL	Combinación	
			SWC	Combinación	
			S		
			DL		
WT	Combinación				
182,000-Más	500-Más	2 o más	CD	Combinación	
			CL	Combinación	
			RTL	Combinación	
			SWC	Combinación	
			S	Combinación	
			DL	Combinación	
			RG	Combinación	
WT	Combinación				

* Población basada en una tasa de generación per-cápita de desperdicios sólidos de 2.5 kg.

CD : Tractor de orugas.
 CL : Tractor cargador.
 RTL : Cargador sobre neumáticos.
 SWC : Compactador con ruedas de acero.
 S : Motoconformadora.
 DL : Draga.
 WT : Pipa.
 RG : Motoescropa.

Tomada de la Ref. 11

Tabla 27: Tipos, funciones y usos de equipos más empleados en rellenos sanitarios.

	BASURA		MATERIAL DE CUBIERTA			
	COLOCACIÓN	COMPACTACIÓN	EXCAVACIÓN	COLOCACIÓN	COMPACTACIÓN	TRANSPORTE
Tractor de oruga con hoja topadora	E	B	E	E	B	NA
Tractor de oruga con cargador frontal	B	B	E	B	B	B
Tractor de ruedas neumáticas con hoja topadora	E	B	L	B	B	NA
Tractor de ruedas neumáticas con cargador frontal	B	B	L	B	B	E
Tractor con ruedas compactadoras de acero y topadora	E	E	B	B	E	NA
Retroexcavadora sobre orugas	NA	NA	E	L	NA	L

REFERENCIAS E: Excelente

B: Bueno

L: Limitado

:

M: Malo

NA: No aplicable

Tomada de la Ref. 6

- 1) Los rodillos lisos se usan para compactación de la capa final del relleno sanitario.
- 2) Los rodillos pata de cabra son usados cuando el material de cubierta es de tierra arcillosa, así como para compactar los residuos sólidos.
- 3) Los rodillos de malla se emplean cuando el material por manejar está compuesto por tierras ligeras y arenosas.
- 4) Los rodillos especiales para la compactación de los residuos sólidos, se utilizan a nivel de equipo especial, para cumplir las mismas funciones que realiza en un relleno sanitario la maquinaria destinada a realizar el acomodo, esparcido y compactación de la basura.

d) Traillas.

- 1) En un relleno sanitario, este tipo de equipos es muy práctico para tender el material de cubierta, ya que al irlo tendiendo, deja una capa muy uniforme.
- 2) También puede mover grandes volúmenes de tierra desde un lugar a otro con mucha rapidez, a la vez que va esparciendo el material de cubierta.

5.3.2 *Mantenimiento*

La maquinaria o equipo mecánico representa un papel vital en la operación del relleno, en virtud de que los movimientos de residuos sólidos y la construcción de celdas dependen de ella.

Para reducir la posibilidad de descomposturas del equipo y evitar contratiempos, ocasionados por éstos, en la operación del relleno, es indispensable mantener la maquinaria en buenas condiciones; para ello se recomienda llevar a cabo el tipo de mantenimiento que más convenga a las necesidades del relleno. A continuación se presentan las recomendaciones básicas para un mantenimiento aceptable.

El mantenimiento puede ser de carácter correctivo o programado:

- a) **Correctivo.** Es aquel que debe realizarse necesariamente para poder seguir empleando el equipo.
- b) **Programado.** Se divide en tres grandes grupos:
 1. **Predictivo.** Consiste en realizar el análisis de laboratorio. Empleo de equipo para definir el diagnóstico del problema.
 2. **Preventivo.** Consiste en: inspección del equipo, servicio de diagnóstico y conservación; detección y corrección de fallas, supervisión de operación y programación de reparaciones mayores.
 3. **Rutina.** Constituida por: lubricación de equipos, limpieza general y abastecimiento de combustible.

De los grupos de mantenimiento, el que se considera de importancia para mantener en buen estado la maquinaria es el de tipo preventivo. A continuación se describen los puntos esenciales de mantenimiento y los servicios que deberán ser aplicados al equipo:

1. "Reporte del Operador"

Este reporte debe contener el informe acerca del estado físico de la máquina y lectura del horómetro, datos indispensables para la realización del mantenimiento preventivo.

2. "Control de Servicios"

El encargado del departamento de mantenimiento preventivo en la obra deberá vaciar diariamente en una hoja de control, las lecturas de horómetro que le reporte el operador, con base en esta hoja de control, el responsable deberá formular el "Programa de Mantenimiento Preventivo", mismo que entregará al Jefe de Maquinaria y al Jefe de Servicio, para su ejecución.

3. "Programa Diario de Mantenimiento Preventivo"

Como se dijo anteriormente, esa hoja la formulará el encargado, quien a su vez someterá a su observación al Jefe de Servicio. Para que se lleve a cabo, de acuerdo con la Carta de Mantenimiento correspondiente.

4. "Carta de Mantenimiento"

En estas cartas se especifican todas las operaciones que es necesario realizar para darle a la máquina el servicio que le corresponde.

5.4 Requerimiento de personal para supervisión y control

La operación de un relleno sanitario puede compararse con la de cualquier empresa, ya que en él intervienen desde el personal con menor jerarquía como los operadores de maquinaria y sus ayudantes, hasta el residente de dicha instalación.

Todos y cada uno de ellos cumplen una labor específica e importante para la correcta operación del relleno sanitario. Entre ellos se dan diversas relaciones de trabajo, con responsabilidades específicas.

Un relleno sanitario debe contar con el personal adecuado para la realización efectiva de las labores. Tener menos cantidad que la óptima, implica retrasos y fallas, en tanto que el personal en exceso ocasiona tiempos muertos y duplicidad de actividades; en ambos casos van implícitas las pérdidas económicas.

En un relleno sanitario se requieren dos tipos de personal: el administrativo y el operativo. El primero se encarga de todas las labores relacionadas con el manejo de recursos humanos, materiales y financieros; el segundo, de la adecuada disposición y recubrimiento de los residuos sólidos en la zona de tiro.

Debe tenerse presente que, dada la amplitud del tiempo diario de operación, puede ser necesario considerar tres turnos de trabajo, lo que incide en el número total de empleados.

En términos generales, los requerimientos de personal tanto administrativo como operativo necesarios en un relleno sanitario, se enlista a continuación:

- Residente.
- Subresidente.
- Sobrestante.
- Analista.
- Secretaria.
- Chofer.
- Intendente.
- Almacenista.
- Vigilante.
- Velador.
- Checador de personal.
- Checador de entrada de vehículos.
- Checador de material.
- Checador de maquinaria.
- Brigadas de limpieza.
- Acomodador.

- Cabo.
- Mecánico.
- Operadores de maquinaria.
- Brigadas de topografía.

Es importante mencionar que para una buena administración del personal antes descrito, es necesario equilibrar las cargas de trabajo entre los niveles jerárquicos, para evitar el descuido de las funciones encomendadas.

5.4.1 Contratación y entrenamiento

El desarrollo de un relleno responde a la combinación óptima de los recursos técnicos, materiales y humanos de que dispone; siendo en última instancia los recursos humanos el elemento más valioso con que se cuenta en una organización, ya que estos dan sentido y significado a los otros dos recursos en el logro de los objetivos preestablecidos. Así se explica la importancia de detectar los potenciales humanos y la capacidad para el trabajo a que se refiere este punto.

En la Ley Federal del Trabajo de 1970, se institucionaliza el entrenamiento, y a partir de 1978, dicha Ley (Ref. 12) establece la capacitación del trabajador como un derecho de éste.

Por el cambio característico de toda organización en desarrollo, es imprescindible adecuar las características habilidades del elemento humano con los requisitos de las tareas que está actualmente desempeñando, o con las que en lo futuro realizará.

Por lo expresado anteriormente, para mantener una operación eficiente en el relleno, los empleados deberán ser cuidadosamente seleccionados, entrenados, y supervisados. La operación apropiada del relleno depende de buenos empleados.

5.4.2 Prevención de accidentes

El personal de desperdicios sólidos trabaja en todo tipo de condiciones climatológicas, con diferentes tipos de equipo pesado, con una variedad de materiales y en diferentes tipos de ambientes, que representan diversos riesgos.

Los tipos de accidentes que ocurren con frecuencia en los rellenos incluyen:

- a) Lastimaduras directas por explosión o fuego.
- b) Inhalación de contaminantes y polvo.
- c) Asfixia debida a la entrada de los trabajadores a los sistemas de recolección de lixiviados que están poco ventilados.
- d) Caídas de los vehículos
- e) Accidentes asociados con la operación de equipo pesado para el movimiento de tierra.
- f) Intento de reparación del equipo cuando el motor aún está encendido
- g) Exposición a frío o calor extremo.

En la Tabla 28 se presentan guías específicas de seguridad para la operación del equipo en un relleno. Los fabricantes de equipo han producido películas educacionales y material escrito sobre la seguridad en un relleno.

5.5 Control de calidad y bitácora

Durante la etapa de construcción, deberá seguirse un programa de control de calidad para asegurar que el relleno se construya de acuerdo con el diseño. Un inspector residente deberá aprobar el trabajo de construcción cuando cada estructura sea terminada. La obediencia a las especificaciones deberán verificarse mediante ensayos geotécnicos antes que el desperdicio se deposite. Las pendientes y elevaciones pueden ser determinadas con equipo topográfico.

La información de bitácora deberá contener la siguiente información:

- a) Cantidad de desperdicio en peso o, preferentemente en volumen (la capacidad del relleno se mide en volumen).
- b) Material de cubierta usado y disponible.
- c) Estadísticas de la operación del equipo y de su mantenimiento.
- d) Costos del relleno
- e) Requerimientos de trabajo.
- f) Estadísticas de seguridad
- g) Información de monitoreo ambiental.

Tabla 28: Sugerencias de seguridad para los operadores de equipo de rellenos sanitarios

1. Verifique el equipo antes de encenderlo.
2. Use escalones y manijas para el abordaje.
3. Mantenga los escalones limpios.
4. Inspeccione el área antes de moverse.
5. Opérese desde el asiento del conductor.
6. Úsense cinturones de seguridad.
7. No trate de abordar el equipo en movimiento.
8. Sólo pasajeros autorizados.
9. Manténgase abajo el cucharón o la hoja.
10. Verifique las áreas de poca visibilidad.
11. Manténgase suficiente espacio libre.
12. Evite viajar sobre las laderas.
13. Evite velocidades excesivas.
14. No aplaste recipientes sellados.
15. Maneje con cuidado sobre artículos voluminosos.
16. Verifique el área de trabajo.
17. Baje los aditamentos hasta el suelo cuando se estacione.
18. Nunca salte desde el equipo.
19. Evite dejar el equipo sin atender.
20. Tenga siempre iluminación adecuada.
21. Limpie el equipo antes de repararlo.
22. Permanezca en el asiento durante ajustes al equipo.

Tomada de la Ref. 11

La información sobre la entrada de desperdicio al relleno permitirá, a quien lo opere, predecir la vida útil restante del sitio o requerimientos de personal y de equipo especial.

5.6 Control de basura e incendios

La basura no daña seriamente el ambiente, pero tal vez es el problema de operación más persistente citado en diferentes estudios (Ref. 5). Su seriedad es debida, en parte, a la mala imagen pública que proyecta.

Los procedimientos de descarga de desperdicios, orientación del frente de trabajo con respecto al viento, existencia o ausencia de un escudo contra viento, y el tipo y preparación del desperdicio juegan un papel importante para resolver el problema de control de basura. Este problema puede disminuirse al descargar desperdicios en el fondo del frente de trabajo. Aquí el viento no puede levantar materiales tan fácilmente como cuando los desperdicios son depositados encima del frente de trabajo.

Si se usa el método de trinchera, con frecuencia se recomienda que la trinchera se localice en ángulo recto con respecto al viento. Un paisaje abierto permitirá que el viento sople sin obstrucción, por lo tanto aumentando la probabilidad de que la basura sea esparcida. El plantar árboles o construir bermas puede reducir la velocidad del viento y, así, los problemas con la basura. Con frecuencia se usan cercas portátiles para atrapar la basura, seguida por una limpieza manual de las mismas y del área viento abajo del frente de trabajo. La cerca deberá ser limpiada diariamente.

Una alternativa para eliminar este problema es de requerir que todos los desperdicios sean colocados para su recolección en bolsas después de haberlo separado de acuerdo con el tipo de artículos a disponer.

Los incendios dentro de los desperdicios son controlados mediante la extracción del material combustible y cubriéndolo con lodo. Cada operador de equipo deberá tener un extinguidor de fuego disponible a la mano. Se deberán proteger piezas caras de equipo con equipo automático de detección y supresión de incendios.

Las pipas pueden ser usadas para el control de incendios. Se propone realizar acuerdos con el departamento local de bomberos para establecer procedimientos para extinción de incendios en los rellenos.

5.7 Control de polvo

El polvo puede ser una molestia en los rellenos, tanto para los empleados como para los vecinos. Las pipas pueden usarse para controlar el polvo. El cloruro de calcio puede ser usado para controlarlo, debido a que absorbe la humedad del aire.

El control de polvo en un relleno es difícil. El tráfico pesado siempre crea problemas de polvo dentro del relleno debido al suelo seco en los caminos. Aunque el regarlo con pipas puede reducir este problema, también puede aumentar el volumen de lixiviados. Así que debe juzgarse acerca de la cantidad de agua a agregar a los caminos para reducir el polvo. El vaciar cargas polvosas en áreas bajas del relleno o rociando una pequeña cantidad de agua a esta carga antes de vaciarla ayudará para controlar el polvo.

5.8 Mantenimiento a caminos de acceso

Los caminos interiores y exteriores deben tener un mantenimiento apropiado en todo momento. Es esencial que los caminos interiores tengan un drenaje apropiado. Los caminos temporales interiores son vitales para la operación apropiada de un relleno. Debido a que los vehículos pesados corren desde y hacia el relleno, los caminos exteriores de acceso se deterioran significativamente. Se deberán asignar fondos suficientes para mantener los caminos. El equipo del relleno que no cuente con llantas neumáticas no deberá circular en áreas pavimentadas de los caminos exteriores. Cuando sea necesario, este equipo podrá moverse a lo largo de las partes sin pavimentar de los caminos. Una superficie plana, lo suficientemente amplia para que quepa este tipo de equipo, deberá recibir mantenimiento entre el relleno y el hangar de mantenimiento.

5.9 Control del gas

Los residuos sólidos dispuestos en un relleno sanitario se descomponen con el tiempo por la acción de microorganismos y reacciones químicas que producen nuevos compuestos líquidos, sólidos y gaseosos.

Los residuos se eliminan o degradan primeramente por microorganismos que utilizan para sus funciones el oxígeno disuelto presente en las celdas, a estos se les denomina organismos aerobios. Posteriormente participan en la descomposición los organismos facultativos que viven en ausencia o presencia de oxígeno disuelto, y por último entran en acción los microorganismos anaerobios que toman el oxígeno de compuestos químicos existentes en el medio.

Los gases que se producen en mayor proporción en la descomposición o eliminación de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos en un relleno sanitario son el metano (CH_4), el bióxido de carbono (CO_2), el ácido sulfhídrico (H_2S) y el nitrógeno (N_2).

A medida que transcurre el tiempo varía la composición de los gases en un relleno sanitario.

El gas metano busca salida de las celdas hacia la atmósfera, por lo que para evitar riesgos de explosión en el sitio, los gases deben dejarse salir.

La necesidad de controlar el movimiento del gas es principalmente para prevenir que dañe las plantas y propiedades, o que cause daño a las personas.

El control del movimiento del gas en un relleno comienza con un estudio geotécnico y geológico del área.

Pero hay que tener cuidado con la cubierta de arcilla que se coloca en el cierre del relleno, porque tiende a contener el gas en el relleno.

5.9.1 Sistemas de control del gas

Para controlar la emigración de gas del relleno se usan salidas pasivas y sistemas activos de bombeo. Los sistemas pasivos se basan en la presión natural y en mecanismos de conducción para dar salida al gas del relleno hacia la atmósfera; los sistemas activos extraen a éste formando un vacío en el relleno o en las formaciones de suelo circundante, para literalmente bombearlo.

5.9.1.1 Sistemas pasivos.

Se han usado zanjas someras para dar salida al gas, tuberías instaladas dentro del relleno y salidas hacia la atmósfera, para permitir que escape el gas de las regiones internas del relleno. Estas salidas naturales pueden estar equipadas con llamaradas para quemar el gas, con el propósito de prevenir problemas de malos olores.

En un número de casos, las salidas pasivas no han sido efectivas para extraer el gas localizado debajo de la cubierta. Esto ha producido daños a la vegetación, acompañándola con problemas de erosión en la cubierta del relleno. La falla de las salidas pasivas se atribuye generalmente al hecho de que existe insuficiente presión sobre el gas desde el interior del relleno para empujarlo al dispositivo de salida.

En áreas donde existe un importante riesgo de que el metano se acumule en construcciones, los sistemas pasivos no son considerados lo suficientemente confiables para ser protectores por sí mismos. Los sistemas activos, que se describen a continuación, deberán ser utilizados en áreas de riesgo moderado o alto.

5.9.1.2 Sistemas activos.

Estos sistemas pueden proporcionar un control de migración o recuperación de metano con propósitos energéticos. Ambos acercamientos emplean pozos de recuperación de gas y bombas de vacío. Se construye una red de tubería para interconectar los pozos y el equipo ventilador.

Cuando el propósito principal es el control de migración, los pozos de recuperación son construidos cerca del perímetro del relleno. Dependiendo en las condiciones del sitio, los pozos pueden ser ubicados en el desperdicio o en la formación de suelo adyacente al relleno. Su localización dependerá del acceso al sitio, del tipo de formación de suelo circundante al sitio, y del tipo de desperdicio depositado en el relleno.

Un suelo arenoso será más permeable al gas que el suelo arcilloso y, por lo tanto, más apropiado para la instalación de pozos. Algunos desperdicios pueden contener materiales, por ejemplo grandes piezas de concreto, que impiden la perforación y la instalación de pozos de recuperación dentro del relleno. En áreas extremadamente riesgosas, los pozos pueden ser instalados en las formaciones de suelo antes que sea colocado el desperdicio sólido en el relleno para que el sistema de control esté en operación antes de depositar el desperdicio.

5.9.2 Detalles de construcción

Una parte importante en el relleno sanitario es el control de movimiento de los gases producto de la descomposición anaerobia de la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos municipales.

Para la captación de los gases existen dos métodos: el primero con materiales permeables y el segundo por medio de materiales impermeables.

5.9.2.1 Método permeable.

El movimiento lateral de los gases puede ser controlado con el uso de materiales que bajo cualquier circunstancia son más permeables que el suelo circunvecino, mediante el empleo de zanjas rellenas de grava. Preferentemente las zanjas deben ubicarse por debajo de las base del relleno para asegurar la intercepción de todos los gases y se colocan en los taludes laterales de las celdas.

La superficie de las zanjas de grava deben estar libres de vegetación o tierra, ya que estos retienen humedad y dificultan la ventilación. Las zanjas pueden tener un diámetro de 30 cm. Este método deja de ser práctico por lo costoso para rellenos de considerable profundidad.

En otro método permeable se colocan tubos perforados de PVC de 8 a 10 cm de diámetro. Los ductos se colocan entre la última celda superior y el material de cubierta final (Fig. 17). Se instalan donde la generación de gas es baja y no se espera migración de gas.

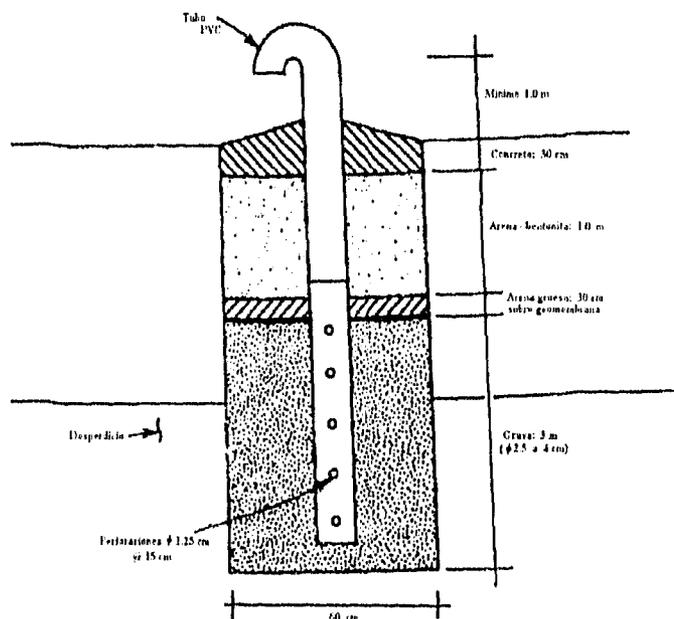


Fig. 17: Detalle de ventila de gas.

El método que propone el Proyecto de Norma NOM-084-ECOL-1994 (ver Anexo) y el más económico, es la instalación de estructuras verticales de 0.60 a 1.0 m de lado a

manera de chimenea, con malla y varilla, rellenos con de piedra. Se desplantará 30 cm abajo del nivel de la base del relleno y su crecimiento va paralelo al del relleno sanitario. En la parte superior se cubren con una placa de concreto, dejando un tubo con forma de cuello de ganso (Fig. 18).

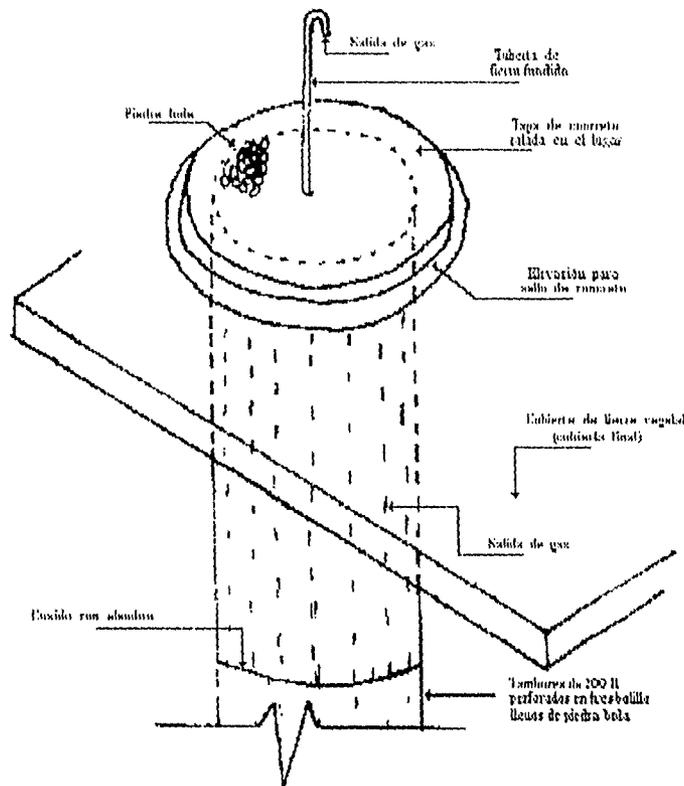


Fig. 18: Sistema de captación y salida de biogas.

Para los sitios clausurados se recomienda la instalación de pozos de venteo, extracción y monitoreo de biogas. Con esta infraestructura es posible el aprovechamiento de este energético.

5.9.2.2 Método impermeable.

El movimiento de los gases en el subsuelo puede ser controlado con materiales que son más impermeables que los utilizados en la cubierta final, por ejemplo, una capa de arcilla compactada de 0.45 a 1.5 m de espesor, la cual puede ser colocada en la base y a los lados del relleno.

En el caso de la colocación de este tipo de barrera en la base del relleno, ésta deberá ser construida a medida que avance el relleno, ya que si es expuesta en forma prolongada al aire, puede secarse y agrietarse.

El material evitará el flujo de los gases hacia el exterior del relleno y los forzarán a buscar otra salida que será la parte superior del mismo.

En la actualidad se ha extendido el uso de material sintético, conocidos como geomembranas, elaborados a base de polietileno de alta y baja densidad y PVC, para el control de la migración de biogas.

5.9.2.3 Estructuras para captación y control.

La captación del biogas se llevará a cabo mediante estructuras que faciliten su conducción y salida; se traducirá en un adecuado control del energético, tanto para su posterior aprovechamiento como para proteger el ambiente y evitar posibles incendios y/o explosiones en el sitio, lo cual es muy frecuente cuando no se tienen localizadas ni controladas las salidas de gas. Asimismo, tales estructuras podrán emplearse como sitios estratégicos para la medición de la cantidad de biogas generado, a fin de calcular su tasa de producción, además de que facilitará la toma de muestras para determinar la composición del mismo (Fig. 19).

5.9.3 Manejo del gas recolectado

El gas recolectado puede ser descargado directamente hacia la atmósfera, quemado, o dirigido a un sistema de recuperación energética.

La descarga usualmente se hace través de una chimenea para proporcionar dispersión atmosférica y minimizar los malos olores. Si la problemática de malos olores o de contaminantes indeseables en el aire lo justifican, el gas puede dirigirse a un quemador para su combustión. Si la concentración de metano excede al 5% y sostiene una flama, el gas puede ser quemado directamente.

Como alternativa para limpieza del gas del relleno puede conducirse a través de un filtro de carbón que capturará el rastro de contaminantes.

Cuando la concentración de gas metano es aproximadamente mayor a 35%, puede ser valioso recuperar la energía del gas.

5.10 Factores de generación de lixiviados.

Los factores que influyen la generación de lixiviados en un relleno sanitario son:

- 1) **Clima.** Un sitio localizado en un área de altas precipitaciones puede generar mayor cantidad de lixiviado. La vegetación, por la evapotranspiración, forzará a una porción de la precipitación que se infiltra a regresar a la atmósfera.
- 2) **Topografía del sitio.** La topografía afecta los patrones de flujo y cantidad de agua que entra y sale del sitio. Los rellenos deben diseñarse para limitar el agua proveniente de la periferia alejándola de éste, y construyendo la cubierta del relleno para que promueva el flujo y reduzca las infiltraciones.
- 3) **Cubierta final.** Los suelos existentes también influyen la cantidad de agua que se infiltra hacia el interior del relleno y escapa por su fondo. Cuando se aumenta la

impermeabilidad del suelo usado para construir la cubierta final del relleno, la tasa de producción de lixiviado disminuye. En áreas donde los suelos nativos no son apropiados para prevenir la infiltración a través de la cubierta, será necesario la importación de material de bancos de préstamo o la colocación de membranas geosintéticas en combinación con el material de préstamo.

4) Cobertura Vegetal. La cubierta vegetal juega un papel importante en el control de producción de lixiviados. Su función básica es la de limitar la infiltración mediante la intercepción directa de las precipitaciones, por tanto, mejorando la evaporación desde la superficie, y reduciendo la percolación a través del material de cubierta al tomar la humedad del suelo y transpirándola de vuelta a la atmósfera. Un sitio con cubierta vegetal pobre puede también experimentar erosión, permitiendo que la precipitación fluya directamente hacia el interior del desperdicio.

5. Operación. La generación de lixiviado puede aumentar por la infiltración del agua a través de las cubiertas temporales o intermedias. La cantidad de infiltración dependerá de los suelos; los suelos arenosos permiten la mayor infiltración y en los arcillosos la menor. El uso de suelos arcillosos para cubierta intermedia reducirá la infiltración y consecuentemente la generación de lixiviado, pero la presencia de capas de suelo relativamente impermeables localizadas dentro del relleno puede producir estancamientos internos.

6. Tipo de desperdicios.

5.10.1 Control de lixiviados

El agua subterránea es una de las fuentes más valiosas para abastecimiento con que se cuenta, por lo que se debe evitar cualquier alteración de sus características físicas, químicas y biológicas.

Uno de los problemas más importantes asociados con el diseño, construcción y operación de un relleno sanitario es el manejo de lixiviados que se forman cuando el agua pasa a través del desperdicio depositado. El lixiviado generado del desperdicio sólido municipal es una mezcla de sólidos disueltos y coloidales, orgánicos e inorgánicos. Contiene productos de la descomposición orgánica de los materiales e iones solubles, los que representan un problema potencial de contaminación para la superficie y agua subterránea.

Las tasas de generación de lixiviados dependen principalmente de la cantidad de líquido que originalmente contenía el desperdicio, y de la cantidad de precipitación que entra al relleno a través de la cubierta o que cae directamente sobre el desperdicio. Debido a esto, es necesario proteger las aguas subterráneas. Su protección se puede efectuar mediante dos métodos:

- a) Natural. Consiste en aprovechar las propiedades físicoquímicas del suelo donde se ubica el relleno, y evitar la contaminación de las aguas subterráneas por el lixiviado.
- b) Artificial. Consiste en colocar materiales naturales o artificiales con el fin de evitar la entrada del lixiviado a las aguas subterráneas, o bien minimizar su poder contaminante.

El material natural más empleado es la arcilla, mejorada en algunos casos con bentonita. Los materiales artificiales o sintéticos utilizados para la impermeabilización son el hule, polietileno y PVC (Cloruro de Polivinilo). Si se utilizan éstos, se debe supervisar que no existan dobleces y/o perforaciones al colocarlos. Los materiales se asientan sobre una base de arena nivelada inferior y otra superior.

5.10.2 Pozos de monitoreo

Como se ha tratado con anterioridad, los procesos de descomposición de los residuos en un relleno sanitario y el agua de lluvia que se infiltra, originan el lixiviado.

Para evaluar la calidad del lixiviado y sus posibles efectos en las aguas subterráneas se realiza un monitoreo de ambas. El monitoreo consiste en una serie de programas que incluyen la toma de muestras, su análisis físicoquímico y biológico en un laboratorio y la evaluación de los resultados obtenidos.

El sistema de monitoreo típico (Fig. 20) consta por lo menos de 3 pozos de muestreo, que se deben situar uno en la dirección del flujo de las aguas subterráneas antes de llegar al sitio del relleno sanitario, otro aguas abajo del sitio y el último en el sitio del relleno. Los dos primeros deberán profundizar 2 m dentro del acuífero y el último en el nivel o base del relleno.

El monitoreo se realiza en forma periódica desde el inicio de la operación del relleno sanitario sistemáticamente no más de cada 6 meses.

5.11 Infraestructura para supervisión y control.

La necesidad de un control y una supervisión en un relleno sanitario, se debe considerar desde la misma planeación de la obra, por lo que es determinante prever la necesidad de contar con ciertas instalaciones que permitan llevar a cabo todas las actividades colaterales y de administración que la operación del relleno demanda.

Para lograr una adecuada operación del relleno sanitario, se requiere de obras y elementos complementarios cuyas especificaciones se expresan en el Proyecto de Norma NOM-084-ECOL-1994 (ver Anexo). Estas obras se enlistan a continuación:

- 1) Caseta para control de acceso.
- 2) Caseta para control de ingreso de desechos.
- 3) Básculas.

- 4) Oficinas.
- 5) Almacén.
- 6) Talleres.
- 7) Servicios.
- 8) Cercado perimetral y de seguridad.
- 9) Espacios de amortiguamiento.
- 10) Caminos.
- 11) Área de limpieza.
- 12) Drenaje interior y exterior.
- 13) Cercas móviles.
- 14) Señalamientos interiores y exteriores.

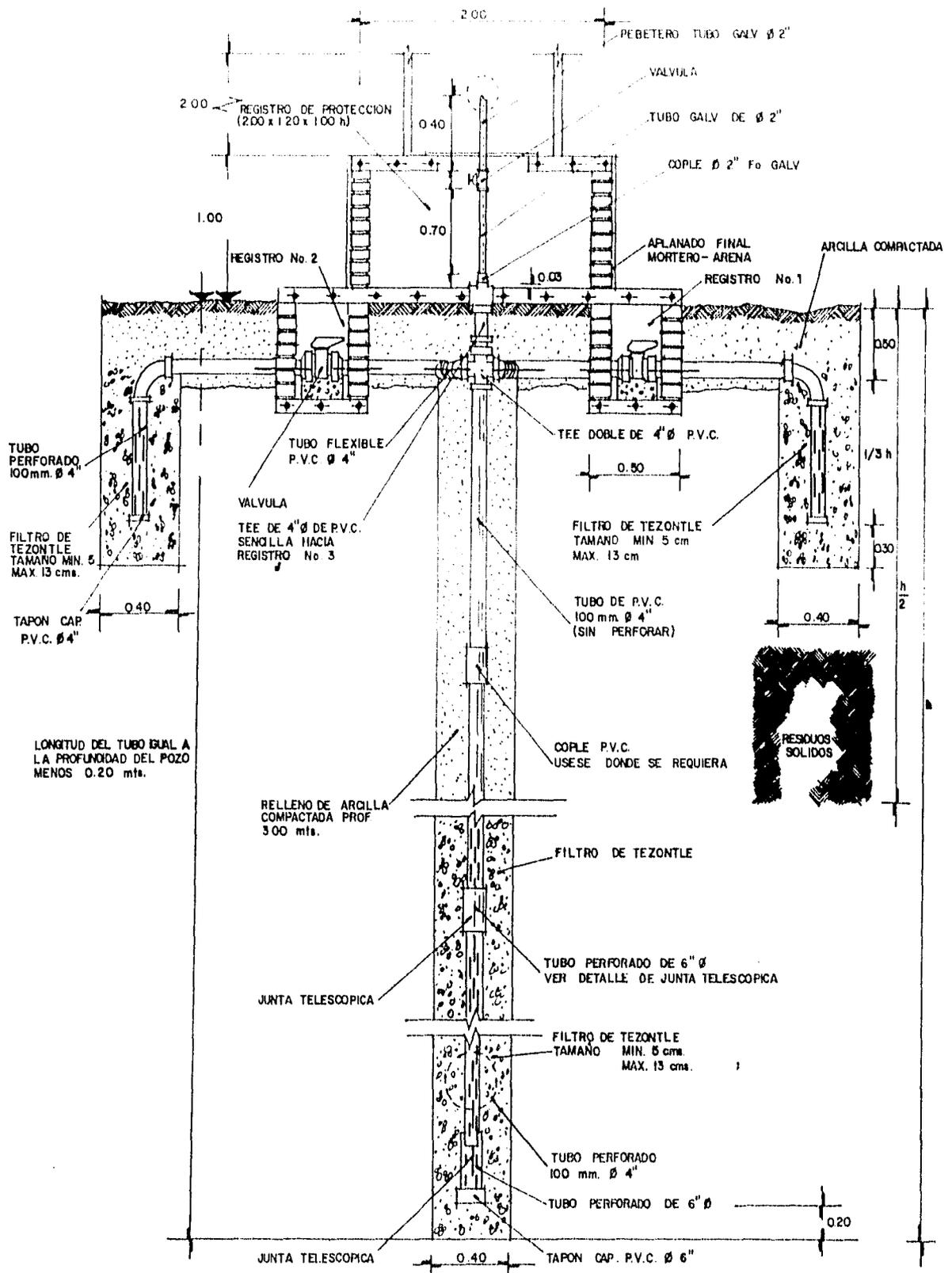
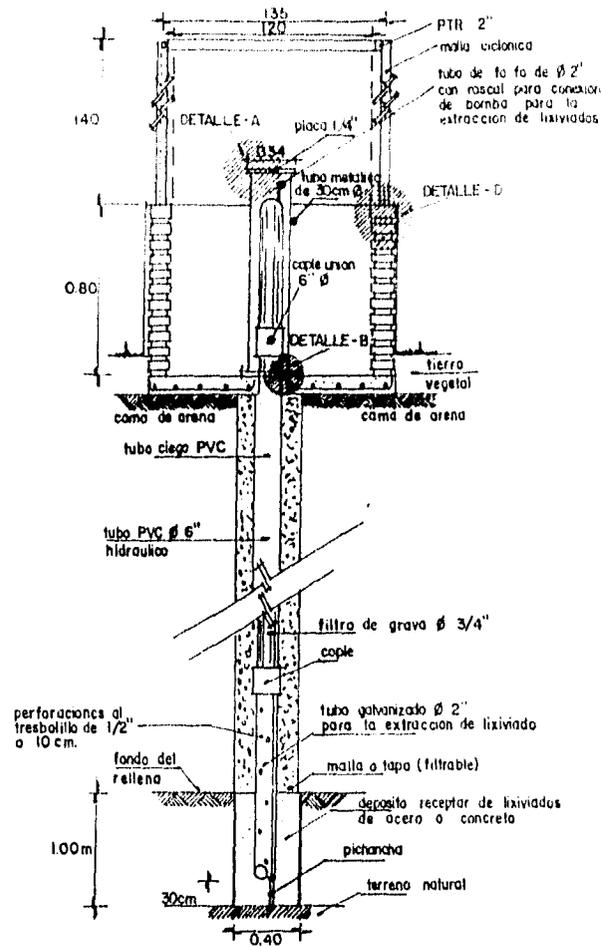
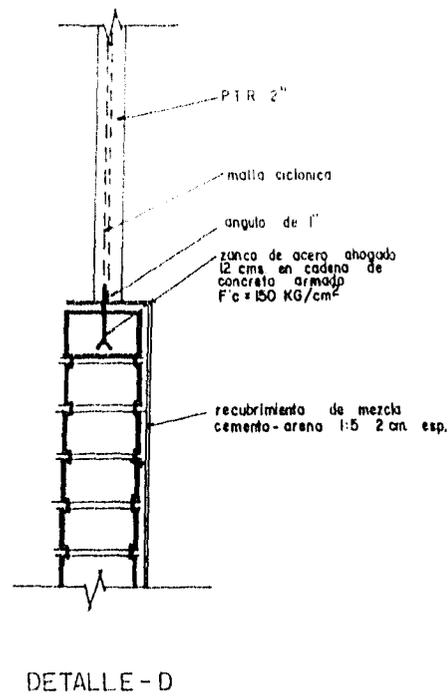


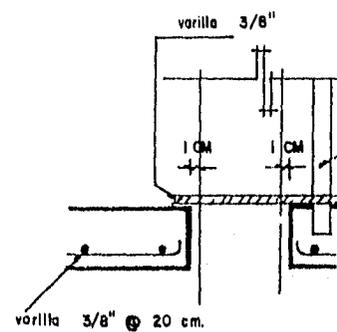
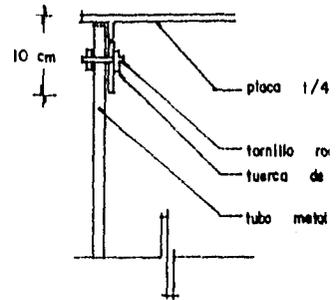
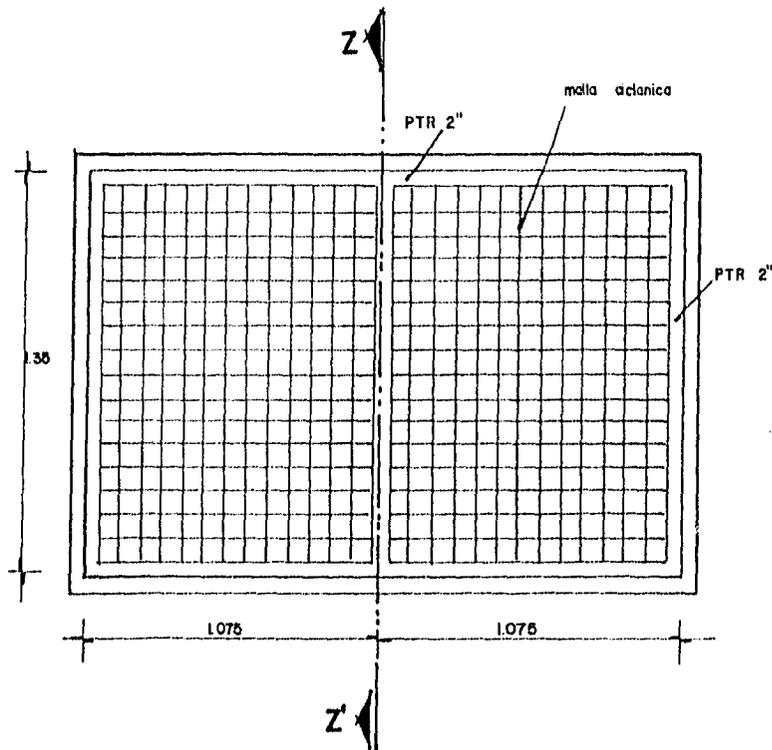
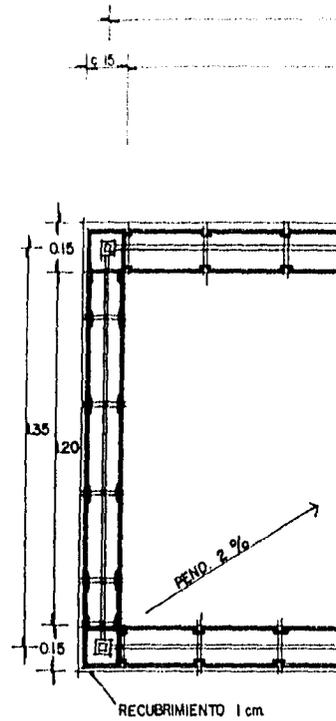
Fig. 19 Detalle de estructura para captacion y control de biogas



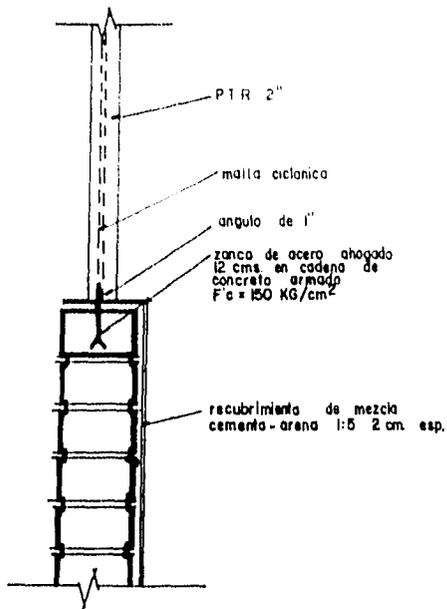
POZO PARA MONITOREO Y EXTRACCION DE LIXIVIADO



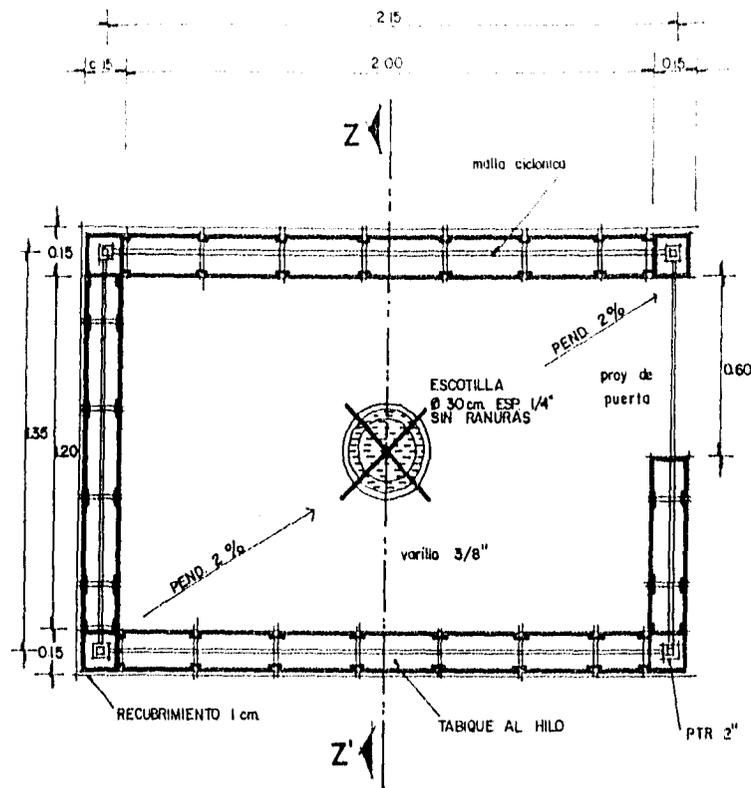
DETALLES POZO DE MONITOREO Y EXTRACCION DE LIXIVIADOS



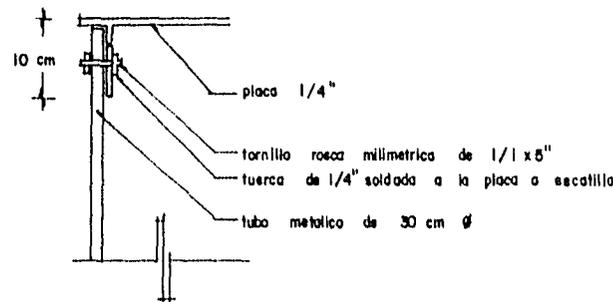
DETALLES POZO Y EXTRACCION



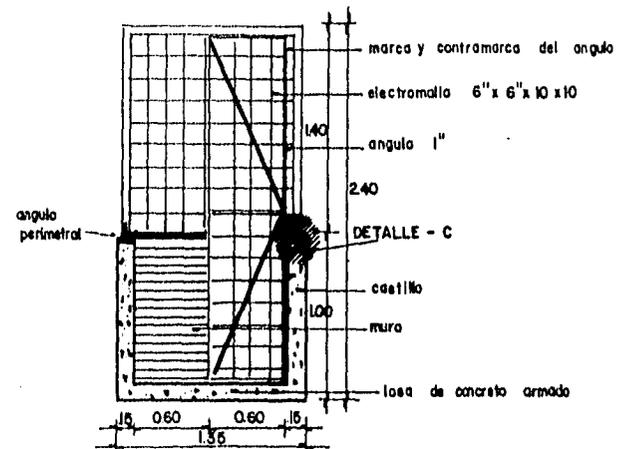
DETALLE - D



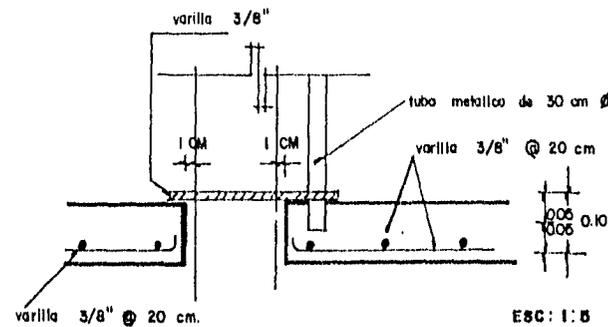
PLANTA ARQUITECTONICA
POZO DE MONITOREO
EXTRACCION DE LIXIVIADOS



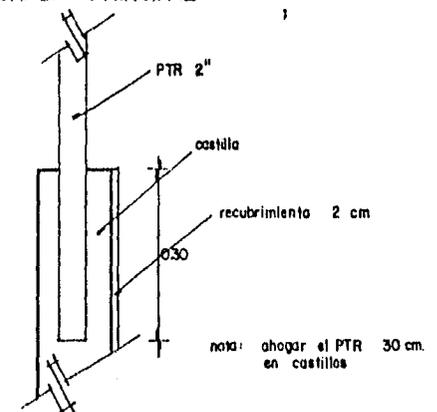
DETALLE - A



FACHADA PRINCIPAL



DETALLE - B



DETALLE - C

DETALLES POZO DE MONITOREO
Y EXTRACCION DE LIXIVIADOS

DETALLE POZO DE MONITOREO
Y EXTRACCION DE LIXIVIADOS

DETALLES POZO DE MONITOREO
Y EXTRACCION DE LIXIVIADOS

Fig. 20 Detalle de pozo de monitoreo
y extraccion de lixiviados

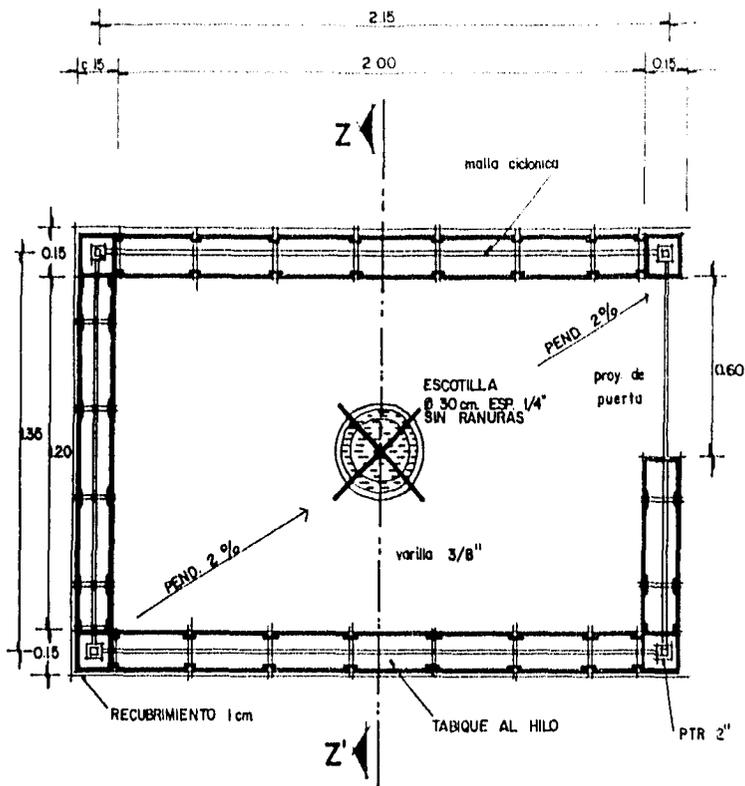
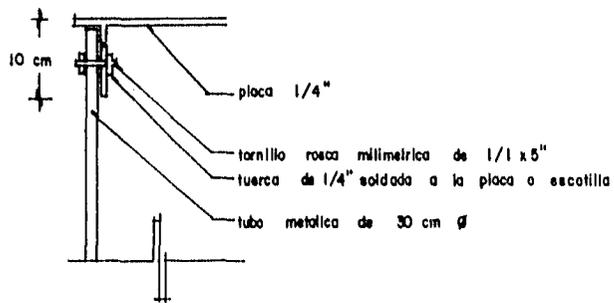
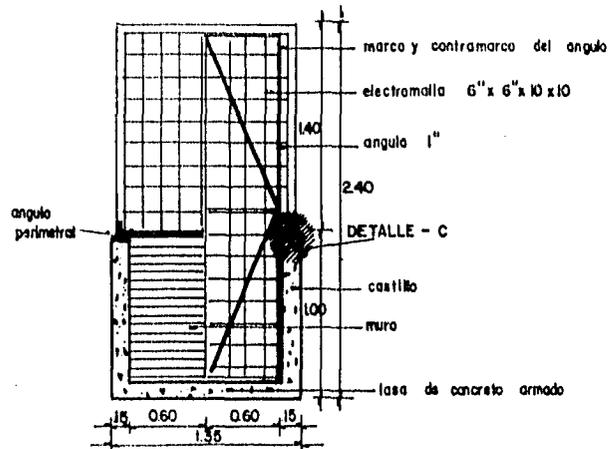


Fig. 20 Detalle de pozo de monitoreo y extraccion de lixiviados

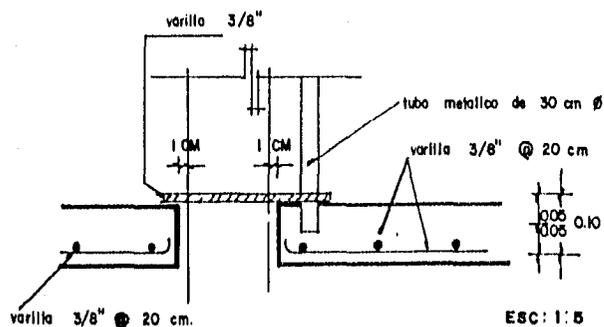
PLANTA ARQUITECTONICA
POZO DE MONITOREO
EXTRACCION DE LIXIVIADOS



DETALLE - A

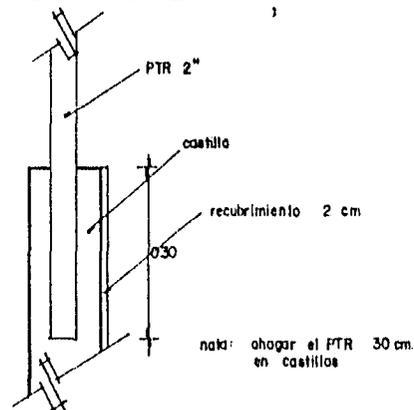


FACHADA PRINCIPAL



DETALLE - B

DETALLES POZO DE MONITOREO
Y EXTRACCION DE LIXIVIADOS



DETALLE - C

DETALLE POZO DE MONITOREO
Y EXTRACCION DE LIXIVIADOS

**CAPÍTULO 6:
CIERRE Y MONITOREO.**

6. CIERRE Y MONITOREO.

6.1 Cierre.

El uso eficiente de un relleno sanitario posterior a su cierre, requiere de una amplia planeación. La mejor estrategia es la de planear el uso eventual del sitio antes de que el relleno se construya y opere. Los usos potenciales para rellenos sanitarios después de su cierre incluyen: parques naturales o de recreación, refugios de animales, canchas de tenis, campos de golf, para toboganes, estacionamientos, y sitios de edificaciones comerciales o industriales.

La planeación es importante al anticiparse a la construcción de una edificación sobre o cerca del sitio del relleno. Las características de diseño tales como localización de estructuras que requieran apoyo especial, instalaciones recreativas que requieran una topografía específica, y sistemas de control de gases para proteger a dichas edificaciones, deberán ser previstas durante la operación del relleno. Deberán establecerse áreas para monitoreo del agua subterránea. En general, la planeación es buena estrategia para anticiparse a cualquier problema de contaminación del agua subterránea, al establecer un espacio para la instalación de equipo o estructuras de remediación.

Dependiendo del uso que se le vaya a dar al sitio, los factores que pueden ser modificados son:

- a) El espesor de la cubierta.
- b) El talud.
- c) La proporción cubierta/desperdicio.
- d) El grado de compactación.

La consecuencia de cambiar los planes de uso final para el sitio del relleno, usualmente requerirá costosas modificaciones, tales como la remoción de capas de desperdicio, por lo que es conveniente prever todo este tipo de contingencias.

6.1.1 Características del sitio

Cuando se planea el uso final del sitio, los factores críticos que deben considerarse son:

- a) Asentamientos.
- b) Características de la cimentación.
- c) Control de lixiviados y de gas.
- d) Vegetación
- e) Nivelación final.

Dependiendo en el uso final seleccionado, puede también considerarse el acceso eficiente al sitio.

Los asentamientos del desperdicio y la consolidación es una consideración principal cuando se construyan instalaciones encima de un relleno cerrado. En sitios donde se realizó una pobre compactación inicial y se permitió que se infiltraran grandes cantidades de agua

de lluvia hacia el desperdicio, el asentamiento es más rápido y de mayores dimensiones. Aproximadamente el 90% de los asentamientos ocurren en los primeros 5 años, aunque pueden continuar durante 25 años o más, pero en menor grado.

Los grados de descomposición del desperdicio son significativamente afectados por la cantidad de agua infiltrada al interior del relleno. Por ejemplo, un relleno con agua limitada para la descomposición bioquímica se asentará más lentamente. La normatividad implementada recientemente para rellenos en los Estados Unidos, requiere el control riguroso de precipitación que entre a través de la cubierta del relleno, resulta en una descomposición muy lenta y por lo tanto en un asentamiento. Los asentamientos se ven también afectados por la cantidad de material de cubierta utilizado.

La descomposición del desperdicio sólido influye el grado de hundimiento. Un relleno con un alto porcentaje de desperdicio producido por demolición de edificaciones, sufrirá un asentamiento menor que un relleno con alto contenido de material orgánico.

Debido a que los desperdicios tienen diferentes tasas de descomposición y facilidad de compactación, los asentamientos diferenciales se anticiparán. El plan final deberá proporcionar inspecciones periódicas al relleno y, cuando sea necesario, proporcionar una nivelación para prevenir el estancamiento de agua de lluvia.

El asentamiento debido a la reducción de volumen produce agrietamiento en el material de cubierta, el que puede presentarse en unos días o diferirse por muchos años.

6.1.2 Procedimientos para el cierre.

La Tabla 29 muestra los procedimientos de operación a desarrollar ya sea cuando todo el relleno, o una fase de éste, haya sido llenada a su capacidad. Se recomienda el cierre en fases.

Cuando se planea un relleno, la intención del diseño es la de limitar la entrada de agua para reducir la generación de lixiviados. La correcta colocación de la cubierta final (Fig. 21) es una técnica importante de control. Se recomiendan 60 cm o más de cubierta final, la cual consiste en una capa inicial de 60 cm de material relativamente impermeable seguido por otro suelo. El uso de geomembranas para restringir la entrada de agua hacia el sitio cerrado se está volviendo una técnica de control que con frecuencia es utilizada. Las técnicas de construcción que aseguran que la calidad de la instalación se alcanza, mejorarán la habilidad de la cubierta para resistir la infiltración de agua hacia el relleno.

Después de colocada la cubierta final, el área deberá ser inmediatamente vegetada para prevenir la erosión. La Tabla 30 describe ciertas recomendaciones para establecer la vegetación en un relleno cerrado. Para asegurar la inspección de los siguientes puntos en intervalos regulares, se deberá realizar una programación de inspecciones:

- a) Asentamientos.
- b) Integridad del suelo de cubierta.
- c) Necesidad de nivelación.

- d) Vegetación.
- e) Erosión.
- f) Cercas.
- g) Controles de gas y lixiviados.
- h) Integridad del uso final del sitio.
- i) Vandalismo.
- j) Monitoreo.

Tabla 29: Lista de verificación para el cierre del relleno sanitario.

<p>1) Pre-planeación:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Definir la topografía final del sitio. b) Preparar el plan de drenaje del sitio. c) Especificar la fuente del material de cubierta. d) Preparar la cubierta vegetal y el plan estético. e) Identificar la secuencia de cierre para operaciones en etapas de estructuras del sitio. f) Especificar procedimientos para el desarrollo de estructuras en el sitio.
<p>2) Tres meses antes del cierre:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Revisar el plan de cierre por cualquier faltante. b) Programar la fecha de cierre. c) Preparar los procedimientos de cierre. d) Notificar a la institución normativa.
<p>3) En el cierre:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Levantar cercas o estructuras apropiadas para limitar el acceso. b) Instalar señalamientos indicando el cierre del sitio y sitios de disposición alternativos. c) Recolectar cualquier desperdicio o restos y colocarlos en la celda final para su cobertura. d) Colocar la cubierta sobre cualquier desperdicio expuesto.
<p>4) Tres meses después del cierre:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Terminar las estructuras necesarias para el control de drenaje. b) Terminar los sistemas requeridos para la recolección de biogas, contenedores de lixiviados, y dispositivos para monitoreo del biogas y agua subterránea. c) Instalar testigos para asentamientos u otros dispositivos para detectar hundimientos. d) Colocar el espesor requerido de material de cubierta sobre el relleno. e) Establecer la cubierta vegetal.

Tomada de la Ref. 11

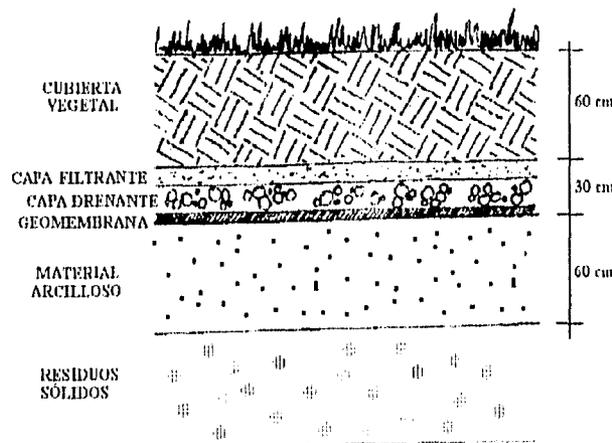


Fig. 21: Cobertura recomendada por la E.P.A. para la clausura de sitios de disposición final.

Tabla 30: Pasos para colocar vegetación.

1. Seleccionar un uso final.
2. Determinar la profundidad de la cubierta: el suelo de cubierta debe tener por lo menos 60 cm de profundidad para colocar el césped y 90 cm para árboles de la región.
3. Establecer un programa de control de erosión: el suelo sobre rellenos recientemente cubiertos debe ser estabilizado poco después de esparcir para prevenir la erosión.
4. Determinar el estado de los nutrientes del suelo: deberán realizarse pruebas al suelo, como pH, nutrientes principales (nitrógeno, potasio y fósforo), permeabilidad y contenido de materia orgánica.
5. Determinar la densidad del suelo: el suelo de cubierta con frecuencia es compactado por el equipo de rellenos durante las operaciones de esparcido hasta densidades que restringirán el crecimiento de las raíces de las plantas.
6. Cubierta de suelo mejorado: el suelo colocado encima de toda el área de plantación deberá ser mejorado con limo, fertilizantes y/o materia orgánica, de acuerdo con las pruebas realizadas al suelo antes de plantar. Estos materiales deberán ser incorporados en los 15 cm superiores del suelo.
7. Seleccionar las especies tolerantes al relleno: césped y otras cubiertas del suelo pueden seleccionarse para ser plantadas en el suelo de cubierta y evaluar los resultados de los experimentos para establecer las especies tolerantes al mismo.
8. Plantar césped y cubiertas del suelo: generalmente es deseable incrustar la semilla en el suelo.
9. Desarrollar el crecimiento de árboles y arbustos: los árboles y arbustos no deberán ser plantados sino hasta después de uno o dos años de que se ha plantado el césped; si éste no crece debido a los gases generados en el relleno, cualquier otra especie de raíces profundas no tendrá probabilidad de crecer.

Tomada de la Ref. 11

6.1.3 Construyendo sobre un relleno.

Existen técnicas para construir muchos tipos de estructuras encima de un relleno cerrado. Dependiendo del tipo, puede ser necesario hincar pilotes a través del relleno hasta el material de base. En otros casos, puede ser posible emplear cimentaciones especiales o zapatas para sostener la carga colocada sobre el relleno.

Importantes consideraciones de diseño para construir sobre un relleno incluyen:

- a) La relación consolidación-tiempo-asentamiento.
- b) Capacidad de carga desarrollada.

También existen técnicas especializadas para ayudar al diseñador a identificar las técnicas estructurales apropiadas.

La capacidad de carga es la habilidad de soportar cimentaciones y equipo pesado. Aunque ésta dependerá de la etapa de operación en que se encuentre, se han reportado valores típicos que varían de 2,400 a 3,900 kg/m² (Ref. 13). Una baja capacidad de carga puede ser superada al aumentar el espesor usado para la cubierta final. De esta forma, el suelo resiste tanto el punzonamiento como el cortante rotacional. El espesor mínimo recomendado es de 1.5 veces al ancho de una zapata estructural. La colocación y

compactación de desperdicio especial debajo de las áreas planeadas para edificaciones es también una opción.

La incorporación de estabilizadores en el suelo durante la colocación de la cubierta puede mejorar la capacidad de carga del relleno, tales como la cal, el cemento Portland, y varios químicos orgánicos. El efecto deseado puede ser el de reforzar mediante cementantes, impermeabilizantes, o dispersión para obtener mayor densidad y menor permeabilidad.

Donde otros medios no tienen éxito para alcanzar una cimentación apropiada sobre un relleno de desperdicios sólidos, puede usarse un sistema de pilotes o pilas para sostener grandes estructuras. Aún con estas medidas extremas, los problemas pueden no haber sido eliminados. El relleno puede seguir asentándose y alejándose de la estructura estable, y puede causar que los pilotes tomen cargas adicionales a través de la fricción negativa.

Cuando se construyan estructuras sobre un relleno, se deberá dar especial atención a la colocación de servicio como drenaje, agua potable, electricidad, y gas.

Cuando se diseñan estructuras sobre un relleno, se debe estar pendiente de las técnicas de ventilación de los gases generados en el interior del relleno, las que serán necesarias para prevenir la acumulación de metano dentro éstas. Estos controles pueden incluir tuberías de ventilación o abanicos de succión.

Con frecuencia, pueden presentarse problemas de drenaje por la acelerada erosión de una área en particular del relleno. Los asentamientos diferenciales de las estructuras de control de drenaje pueden limitar su utilidad y resultar en la falla.

La deficiencia al mantener la integridad física de la cubierta del relleno, promueve la infiltración adicional de agua hacia el relleno y eventualmente da como resultado un aumento en la producción de lixiviados.

6.2 Monitoreo.

El monitoreo de un relleno sanitario tiene dos propósitos esenciales: verificar si el relleno funciona de la misma forma que como se planteó en la etapa de diseño, y asegurarse que el relleno cumple con la normatividad vigente.

Para desarrollar un programa de monitoreo deben considerarse los siguientes factores:

- 1) Tipo de equipo a usar.
- 2) Dónde instalar el equipo de monitoreo.
- 3) Frecuencia de realizarse.
- 4) Constituyentes químicos que deben monitorearse.

En un relleno sanitario deben monitorearse los siguientes puntos:

- a) Generación de lixiviados dentro del relleno. Ésta variará con respecto al lugar y el momento en que se realice la prueba. Se espera que sea mayor

cerca del centro de la celda y menor cerca de las tuberías de recolección. Como mínimo, la generación de lixiviados debe monitorearse en estos dos puntos. Se sugiere monitoreo semanal durante los primeros cuatro años de operación y posteriormente de forma mensual.

b) Escape de lixiviados a través de la base del relleno. La zona sin saturar entre la base del relleno y el nivel freático debe monitorearse para detectar fugas. Se pueden usar dos acercamientos:

1. Instalar instrumentos para recolectar lixiviados que pudieran fugarse. Se usan los llamados lisímetros. Su localización y número depende del diseño. Es preferible instalar más de un lisímetro por debajo de la base debido a que el monitoreo puede seguirse aún si falla alguno de ellos. Deben instalarse cerca de los límites del relleno para que la longitud de tubería sea mínima.

2. Instalar instrumentos para detectar agua percolada. Estos detectan los cambios en el contenido de humedad o la concentración química. Este tipo de instrumentos proporcionan información en etapas iniciales cuando los cambios toman lugar. Pero después de varios años, la mayoría de éstos probablemente fallarán al proporcionar información valiosa.

c) Agua subterránea circundante al relleno. Se pueden usar pozos de monitoreo directo o técnicas geofísicas. Sin embargo, éste último no se usa con propósitos de monitoreo rutinario sino para acciones remediales. Para la instalación y muestreo de la red de agua subterránea deben tomarse en cuenta los siguientes puntos:

1. Localización y número de puntos de muestreo. Definir estos puntos es una tarea difícil debido a que normalmente el suelo inferior al nivel de aguas freáticas es estratificado, además de tener lentes de suelo con diferente permeabilidad y fracturas, entre otras formaciones. El conocimiento de la geología del lugar es importante al diseñar una red de monitoreo de este tipo. En general, los pozos de monitoreo son colocados en rutas potenciales de escape.

2. Diseño y frecuencia de muestreo. El monitoreo regular es necesario para juzgar cualquier cambio en la calidad del agua subterránea, la que obviamente es impactada debido a la fuente de contaminación que representa el relleno. Sin embargo, no debe rebasar los niveles de seguridad que proponga la entidad normativa (SEDESOL). En la Fig. 25 se muestra el detalle típico de un pozo de observación del nivel freático.

3. Recolección de muestras. La recolección y las pruebas a realizar a las muestras son importantes para obtener información representativa de las condiciones que provoca el relleno. Se verifican en campo parámetros tales como temperatura, pH, color, olor y turbiedad, antes de que las muestras sean filtradas y llevadas a laboratorio, en donde las medidas de control de calidad son buenas y donde se usan menores límites de detección posible.

- d) Concentración de gas. El gas que circunda al relleno debe ser monitoreado. Aunque la posibilidad de que el gas se mueva a través del suelo es baja, debe ser monitoreado en forma rutinaria. El aire sobre y alrededor del relleno deberá ser monitoreado para verificar la existencia de peligrosos contaminantes del aire que dañen la salud de los trabajadores del relleno y demás personas que entren en contacto con el área del relleno.

Deberá realizarse un estudio del subsuelo antes de seleccionar los puntos de monitoreo. Usualmente la migración ocurre a través de depósitos de arena, sin embargo, las formaciones altamente fracturadas pueden servir para conducir el gas. Se sugiere que el monitoreo de gas sea realizado 2 veces al día en 7 a 10 días consecutivos del mes. La probabilidad de migración del gas es alta cuando el suelo esté congelado o saturado.

El principal objetivo del muestreo del monitoreo del aire del relleno, es el de recolectar una muestra de aire contaminado y analizar la concentración de dichos contaminantes.

- e) Calidad de lixiviados en el tanque de recolección. Este tanque deberá ser monitoreado para checar el nivel de líquido acumulado y la calidad del lixiviado. Deberá verificarse diariamente, semanalmente y mensualmente que no ocurra el derrame de éste. Se sugiere que la calidad del lixiviado se monitoree durante su vida activa y de 2 a 5 años después de su cierre.
- f) Estabilidad de la cubierta final. Deberá monitorearse dependiendo del tipo de cubierta final:
1. Cubierta sintética. Se pueden instalar testigos encima de ésta para monitorear el asentamiento. Un excesivo asentamiento puede llevar al rompimiento de la membrana sintética. Deberán colocarse en una cuadrícula en puntos de 30 m de separación (o menos) y pueden ser monitoreados cada 3 meses o anualmente.
 2. Cubierta de arcilla. Los asentamientos en este tipo de cubierta también pueden ser monitoreados. Pueden instalarse monumentos sobre los taludes laterales para monitorear la estabilidad del talud.

Pueden colocarse en una cuadrícula en puntos de 30 m de separación (o menos) y monitorearse de la misma forma que la cubierta sintética. Usualmente la falla del talud ocurre en forma de arco circular, por lo que se sugiere usar un mínimo de 3 monumentos a lo largo de la línea del talud. Tanto el movimiento horizontal como el vertical de dichos monumentos deberá monitorearse.

6.2.1 Mantenimiento y conservación de la capa final.

En la cubierta final del relleno sanitario pueden llegar a presentarse ciertos problemas ocasionados por deformaciones ocurridas en el interior de las celdas como por intemperismo. El primero da lugar a la formación de depresiones y grietas, mientras que el segundo provoca desgaste en la cubierta por efecto de erosión (viento y agua). A continuación se presentan las medidas necesarias a efectuar para la solución de esos problemas.

- a) Depresiones. Deberá escarificarse con pala, rastrillo o zapapico el área afectada con la finalidad de limpiar el área afectada y cuantificar el daño.

Posteriormente, se colocará el material necesario para llevar a cabo la nivelación de la superficie. El material será compactado en un grado de humedad suficiente para mantener su consistencia y estabilidad.

- b) Grietas. Cuando esta situación se presente, se deberá llevar a cabo la operación recomendada en el primer párrafo del inciso anterior.

Después de escarificar y limpiar la zona afectada, deberá colocarse material de cubierta a todo lo largo de la grieta y en un ancho de cuando menos 0.20 m de cada lado de ella.

- c) Zonas erosionadas en taludes y terraplenes. Se deberá escarificar cuando menos 0.10 m en la zona erosionada, ya sea con máquina o manualmente.

Se humedecerá la zona afectada y posteriormente se hará la reparación hasta llegar a la superficie original.

CAPÍTULO 7:
ANÁLISIS ECONÓMICO.

7. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis o estudio económico puede definirse como “una comparación entre alternativas, en la cual, dentro de lo posible, las diferencias entre ellas se expresan en términos monetarios” (Ref. 14), o bien como “un conjunto de estudios que permiten estimar las ventajas y desventajas que se derivan de asignar determinados recursos para la producción de bienes y servicios” (Ref. 15).

El término análisis económico se debe a que en la práctica de la ingeniería se comprenden elecciones entre cursos de acción o alternativas disponibles, los que comprenden diferentes montos de inversión y de ingresos y egresos; esto converge en plantear y posiblemente solucionar la interrogante de si un proyecto es rentable o no.

Al realizar un análisis económico del proyecto se obtendrá, al menos teóricamente, un rendimiento que mida finalmente el incremento neto del bienestar económico debido a la nueva inversión dentro de la economía.

Mediante los siguientes puntos es posible comprender de manera práctica el propósito del análisis económico:

- a) se realiza a partir del punto de vista del interés nacional o regional.
- b) enfatiza el proceso de planeación como instrumento para una mejor asignación de los recursos.
- c) valora el uso real de los recursos que se hace en la ejecución del proyecto.
- d) valora los impactos del proyecto en su entorno social así como los efectos indirectos en otras actividades económicas.
- e) se interesa en la forma en que se distribuyen los beneficios de la nueva inversión dentro de la sociedad.

7.1 El proyecto como centro de inversión

El objetivo primordial de una empresa es el de maximizar la riqueza de los accionistas, o sea, el valor de la empresa. Esto es lo mismo que maximizar la utilidad sobre el capital.

En toda empresa constructora el centro de aplicación de sus recursos son los proyectos y esto es válido tanto para recursos humanos como para los recursos de capital.

Desde el punto de vista de la aplicación de los recursos de capital podemos definir un proyecto como el centro de inversión de los fondos provenientes de los accionistas o de una institución crediticia.

7.1.1 Valor del dinero en el tiempo

Es una realidad que si una persona invierte su dinero hoy, mañana tendrá más dinero que el que originalmente ha invertido. Esta acumulación de dinero es lo que se llama “valor del dinero en el tiempo”.

La manifestación del valor en el tiempo es llamada "interés", el cual es una medida del incremento entre una suma original invertida o adeudada, y el monto final recibido o pagado.

Por lo tanto, el interés esta relacionado a una unidad de tiempo y para el caso de un crédito se tiene la expresión:

$$\text{Interés} = \text{deuda presente} - \text{crédito original} \quad (32)$$

El valor del dinero en el tiempo y la tasa de interés nos llevan al concepto de equivalencia que expresa que diferentes sumas de dinero en diferentes tiempos pueden tener igual valor económico.

Si suponemos que la tasa de inversiones en el mercado es el 10% para un inversionista, es equivalente tener un peso hoy que un peso y diez centavos dentro de un año. De la misma forma, un peso dentro de un año es equivalente a $1/1.10 = 0.91$ (noventa y un centavos de hoy), siempre y cuando se mantenga el valor del dinero en el mercado como el 10%.

7.1.1.1 Interés simple

Se calcula usando el monto original o principal, ignorando cualquier interés que se hubiera podido acumular en los periodos de interés precedentes. Para este caso, el interés total puede calcularse usando la relación:

$$V_F - V_P = V_P * N * i \quad (33)$$

donde:

V_F : valor final o futuro.

V_P : principal.

N : número de periodos.

i : tasa de interés por periodo.

7.1.1.2 Interés compuesto

En éste caso, el interés de un determinado periodo de interés es calculado sobre el principal, más el monto total de los intereses acumulados en los periodos anteriores. La expresión queda definida por:

$$VF_n = VP * (1+i)^n \quad (34)$$

Al factor $(1+i)^n$ se le llama "factor de acumulación".

7.2 Criterios de participación en un proyecto

Conservando el criterio de considerar un proyecto como un centro de inversión, tendremos que distinguir dos criterios para decidir la intervención de la empresa en un proyecto determinado; uno de tipo cualitativo y otro cuantitativo.

El criterio cualitativo no tiene una forma de medición y depende de las políticas de la empresa en cuanto a ocupación de su personal, tipo de proyecto, magnitud, impacto del mismo en el prestigio de la empresa, posibilidad de obtención de futuros proyectos, etc.

El criterio cuantitativo podemos referirlo por una parte a la medición del rendimiento del conjunto de recursos, así como la acción de su personal, y por otra al rendimiento de la inversión asignada al proyecto.

7.2.1 Comparación de inversiones

Para poder comparar dos inversiones en términos cuantitativos, existen varios procedimientos de los cuales los más conocidos son:

a) Período de pago: está definido como la cantidad de tiempo necesario para que el proyecto genere suficiente flujo de caja acumulado para repagar la inversión inicial. Cuanto más corto sea el período de pago, más atractivo se considerará el proyecto.

El período de par no puede verse como una medida de rendimiento sino como una medida de liquidez.

b) Tasa de retorno contable: también llamada “tasa de retorno” o “retorno del capital”, se calcula como una fracción cuyo numerador represente el promedio de utilidades contables en el proyecto y cuyo denominador representa el promedio de capital empleado.

c) Método del valor presente: es uno de los más conocidos como métodos del “flujo de efectivo”. Con este método se hacen valuaciones de ingresos y egresos futuros en dinero equivalente de hoy. Al obtener el valor presente del flujo de efectivo de un proyecto utilizando una tasa deseada, para $V_p < 0$ será un indicativo de que para la tasa aplicada habrá una pérdida. Si para otra tasa el $V_p > 0$, entonces implica una ganancia neta mayor que la indicada en la tasa de retorno.

El valor presente se obtendrá como:

$$V_p = -V_{p_0} + \frac{VF_1}{(1+i)^1} + \frac{VF_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{VF_n}{(1+i)^n} \quad (35)$$

donde:

V_p : valor presente.

V_{p_0} : inversión inicial.

F_n : flujo de caja en el período “n”.

d) Tasa interna de retorno: también llamado TIR, en este procedimiento se determina la tasa de interés que hace que la suma del valor presente de los ingresos y de los egresos sea cero. Para el caso del análisis de un solo proyecto, la TIR nos da la tasa de interés de la inversión, es decir, este procedimiento determina la tasa para que se cumpla que:

$$0 = -V_{p_0} + \frac{VF_1}{(1+i)^1} + \frac{VF_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{VF_n}{(1+i)^n} \quad (36)$$

Esta igualdad debe resolverse por tanteos para diferentes valores de "i", o bien, utilizando una hoja de cálculo como se realizó para el desarrollo de la presente tesis.

7.3 Campo de aplicación

La evaluación de los proyectos requiere la consideración de la inversión necesaria además de la influencia de diferentes factores (inflación, regulación ambiental, etc.) sobre los costos.

Dos factores que hacen que los estudios económicos sean en particular deseables para este tipo de obras son la disponibilidad de recursos y la diversidad de los puntos de vista de la ciudadanía con respecto a un proyecto como los rellenos sanitarios.

Debido a los problemas de la economía cíclica mexicana y al momento que nos atañe, los proyectos de infraestructura pública tienden a ser financiados por capitales privados, quienes de acuerdo con lo que se estipule en el contrato de concesión, podrán explotar el proyecto hasta el momento en que se recuperen la inversión realizada. Es por esto que el presente capítulo será tratado como un proyecto desarrollado y operado por un ente particular.

Por otro lado, la selección de un sitio para disposición final de residuos municipales se hace de entre varias alternativas posibles, de acuerdo a disposiciones técnicas. Aunque normalmente dicha selección se realiza tomando como base la normatividad existente (ver Anexos), el análisis económico puede modificar cualquier alternativa.

7.4 Contenido

Es necesario realizar un estudio económico para cada sitio alternativo propuesto que deberá contener los siguientes puntos:

1. **ESTUDIO DE MERCADO.** Es el punto de partida para la formulación y análisis de todo proyecto de inversión. De no existir una demanda suficiente para el servicio proporcionado por el proyecto, se dice que carece de base económica. El estudio de mercado es planteado por la necesidad de contar con un sitio para la disposición final de residuos sólidos municipales (servicio) y del estudio de generación realizado en el Capítulo 3 de la presente tesis, incluyendo cualquier proceso relacionado con este último.
2. **ESTUDIO TÉCNICO.** El objetivo básico de los estudios técnicos es demostrar la viabilidad del proyecto, y engloba los requerimientos de insumos para la entrega de un servicio a la comunidad. Es aquí donde se deben estudiar los siguientes puntos:
 - a) **Localización.** Basada en las restricciones dadas por el Proyecto de Norma NOM-084-ECOL-1994 (Anexo) y el estudio de localización ya realizado.
 - b) **Proceso.** Implica el conocimiento de los pasos y operaciones que se realizan dentro de las instalaciones, así como los recursos requeridos; aquí se toman decisiones con respecto a la maquinaria (tecnología disponible) e

insumos (servicios públicos, mano de obra, etc.) que se deben escoger para realizar las operaciones de disposición.

En esta etapa se desarrolla la ingeniería del proyecto, que tiene por objeto aportar la información que permita hacer una evaluación económica del proyecto y establecer las bases técnicas para construir la instalación, en caso de que alguna de las alternativas de proyecto demuestre ser económicamente atractiva.

- c) Requerimientos generales y costos. Se realiza la concentración de todos los conceptos para realizar el estudio financiero, es decir, el importe de erogaciones necesarias para realizar la apertura y operación del relleno sanitario, incluyendo maquinaria, obra civil, mano de obra, insumos, y servicios.
3. ESTUDIO FINANCIERO. Contiene las inversiones, el financiamiento y los presupuestos de operación. Las inversiones en un proyecto constituyen el capital, ya sea propio o de terceros, que se pone en juego con el objeto de operar el relleno sanitario; el financiamiento es la fuente de recursos más accesible y económico para que la empresa opere; en los presupuestos de operación se pronostican el volumen y el comportamiento que tendrán los ingresos y egresos durante la vida del proyecto.
4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD. Siempre existe incertidumbre respecto al futuro; rara vez resultarán los acontecimientos en la forma como se pronosticaron. La palabra *sensibilidad* se refiere a la relación entre el cambio relativo en pronóstico de algún elemento de un estudio económico y la medida de la atractividad de una alternativa.

Por otra parte, el poner en juego capital, independientemente de la fuente, implica un riesgo para la empresa, por lo que es necesario realizar un análisis de sensibilidad debido a que toda estimación que se realice está sujeta a cierta incertidumbre y su resultado puede sustentar el proceso final de la toma de decisión.

Para el caso en estudio, se realizará sólo el análisis de sensibilidad de la tarifa que se cobraría por el servicio puesto que de ésta depende en gran parte si el proyecto es rentable. Con esto no quiero decir que cualquier otra variable, tal como el crédito o los intereses no deba analizarse, pero como ejemplo se presenta solo el caso de la tarifa. En la Fig. 22 se presenta el análisis de sensibilidad realizado.

7.5 Análisis de costos

El costo en sí no es la única base para decidir por un cierto equipo de disposición final, sino que también se tienen que tomar en cuenta los factores tales como:

- a) Desempleo, para ver si se usan tecnologías con uso extensivo o intensivo de mano de obra.
- b) Salida de divisas, si el equipo es extranjero y afecta desfavorablemente la balanza de pagos del país.

- c) Fabricación nacional, extranjera o integrada, para proteger la industria nacional dentro de límites razonables.
- d) Otros, como facilidades de financiamiento, tipo de interés, aspectos políticos, sociales, ecológicos y de relaciones públicas.

Estos factores influyen mucho dentro del proceso de toma de decisiones, sobre todo en donde priva el "criterio nacional de costos" como en las agencias gubernamentales. Cuando se trata de empresas privadas, generalmente prevalece el criterio que basa sus decisiones en los costos en sí, tomando en cuenta marginalmente los otros factores, a menos que la política gubernamental los obligue a hacerlo.

Para empezar a analizar si es factible construir y operar un relleno sanitario municipal con las características que hasta el momento se han planteado, calcularemos el costo mensual de erogaciones requeridas para la operación, así como las necesarias para la construcción; éstas últimas tomando en cuenta lo planteado en el Proyecto de Norma NOM-084-ECOL-1994 (Anexo), con respecto a obras requeridas.

7.5.1 Erogaciones por servicios públicos.

a) Consumo aproximado de agua potable. Se presentan en la Tabla 31.

Tabla 31

Descripción	Diario	Mensual (m ³)
Sanitarios	1.65	49.5

b) Consumo de energía eléctrica. Se presentan en la Tabla 32.

Tabla 32

Área	Consumo/día (watt)
Oficinas	980
Baños	100
Almacén	300
Arbotantes	140
Varios	80
TOTAL :	1600

Se utilizará el servicio 12 hr/día en 30 días/mes. Con esto se obtiene que por servicios públicos se requiere una erogación mensual presentada en la Tabla 33.

Tabla 33: Costo mensual de servicios públicos.

Insumo	Consumo/Mes	C. Unitario (\$)	C. Total / Mes (\$)
Agua potable	49.5 m ³	12.82	634.59
Energía eléctrica	576 kw-hr/mes	2.35	1353.6
TOTAL :			1,988.19

7.5.2 Erogaciones por mano de obra

Los sueldos diarios que se presentan en las tablas siguientes ya fueron afectados por el Factor de Salario Real (F.S.R.) que incluye las prestaciones que como empresa se deben otorgar a los trabajadores por el trabajo realizado de acuerdo a la Ley. Este factor queda integrado de acuerdo a los siguientes puntos:

- a) INFONAVIT : 5 %
- b) Riesgo de trabajo 7.58 %
- c) I.M.S.S. :
 - Enfermedad y maternidad 8.75 %
 - Invalidez, vejez, etc. 5.95 %
 - Retiro (S.A.R.) 2 %
 - Guardería 1 %
- d) Prima vacacional 25 %

El costo de mano de obra se presenta en las Tablas 34, 35 y 36. Se ha dividido así debido a que la última representa erogaciones por costo administrativo y las otras dos representan el costo para la operación del relleno sanitario.

Tabla 34: Requerimientos de mano de obra directa.

Descripción	Cantidad	Sueldo diario		Sueldo mensual	
		(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
Personal de limpieza	2	23.97	1,438.24		
Operadores de maquinaria	9	35.71	9,641.03		
Brigada de topografía	1	82.88	7,405.43		
TOTAL :				\$ 18,484.69	

Tabla 35: Requerimientos de mano de obra indirecta.

Descripción	Cantidad	Sueldo diario		Sueldo mensual	
		(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
Almacenista	1	33.38	1,001.36		
Chegador	1	23.97	719.12		
Chofer	1	34.68	1,040.49		
Intendente	1	23.97	719.12		
Mecánico	2	36.31	2,178.78		
Velador	1	30.96	928.71		
Vigilante	2	30.96	1,857.41		
TOTAL :				\$ 8,444.98	

Tabla 36: Requerimientos de mano de obra administrativa.

Descripción	Cantidad	Sueldo diario		Sueldo mensual	
		(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
Analista	1	36.30	1,089.00		
Contador	1	94.00	2,820.00		
Residente	1	105.50	3,165.00		
Secretaria	1	32.74	982.27		
Sobreslante	1	59.60	1,788.00		
TOTAL :				\$ 9,844.27	

7.5.3 Costos por maquinaria

a) Costo de insumos para maquinaria:

Concepto	Costo (\$)
Diesel	1.56
Gasolina	2.60
Aceite	11.90

La maquinaria propuesta fue seleccionada tomando en cuenta :

- a) estudios realizados por la SEDUE y la EPA.
- b) la facilidad adquisición y refacciones ya que los fabricantes tienen plantas de distribución en la localidad.
- c) necesidades propias del proyecto.
- d) capacidad productiva.

Además, debido a que puede ser necesario acarrear arena para colocarla en la base del relleno sanitario para la conducción de lixiviados, se plantea la interrogante de utilizar una de las siguientes alternativas de inversión:

1. usar cargador y camiones de volteo.
2. usar motoescrepas.

Con lo anterior, se propone utilizar la maquinaria que se presenta en la Tabla 37, y realizar la selección del equipo para el movimiento de tierras de acuerdo a las alternativas mencionadas anteriormente:

Tabla 37: Características de la maquinaria a utilizar.

Tipo	Modelo	Características Generales	Costo (\$)
Cargador sobre neumáticos	CAT-926	Diesel de 105 H.P. Capacidad de cucharón: 1.5 m ³ Combustible: 150 lt Cárter = 19 lt	832,000.00
Tractor sobre orugas	CAT-D8N	Diesel de 335 H.P. Combustible: 745 lt Cárter = 28 lt	2'380,000.00
Camión de volteo	F-600	Diesel de 165 H.P. Capacidad: 7 m ³	232,611.00
Motoescrepa	CAT-627B	Diesel de 225 H.P. Capacidad colmada: 15.3 m ³ Combustible: 511 lt	2'839,081.00
Motoconformadora	CAT-14G	Diesel de 180 H.P. Largo de la hoja: 4.27 m Combustible: 380 lt	953,354.00
Compactador pata de cabra	JD646-B	Diesel de 150 H.P. Cucharón p/relleno sanitario de 3.44 m ³ . Compactación hasta 226.6 kg/cm ²	679,086.00
Petrolizadora	F-600	Diesel de 165 H.P.	240,051.00

Al realizar el análisis de costo horario para cada una de las máquinas propuestas en la Tabla 37, se obtienen los consumos mensuales de combustibles, lubricantes, llantas, seguros y mantenimiento requerido que se presentan en la Tabla 38. Los resultados obtenidos para las dos alternativas de inversión planteadas se presentan en las Tablas 39 y 40.

Tabla 38: Mantenimiento y consumos mensuales de la maquinaria propuesta.

Tipo	Modelo	Costo Mensual (\$)
Cargador sobre neumáticos	CAT-926	8,903.31
Tractor sobre orugas	CAT-D8N	39,191.14
Camión de volteo	F-600	22,396.69
Motoescrpa	CAT-927B	14,824.79
Motoconformadora	CAT-14G	23,751.04
Compactador pata de cabra	JD646-B	19,882.32
Petrolizadora	F-600	11,264.12
TOTAL:		\$ 140,213.42

Tabla 39: Alternativa 1: inversión con el uso de cargador y camiones.

Tipo	Cantidad	Costo Total (\$)
Cargador sobre neumáticos	1	832,000.00
Tractor sobre orugas	2	4'760,000.00
Camión de volteo	2	465,222.00
Motoconformadora	2	1'906,708.00
Compactador pata de cabra	2	1'358,172.00
Petrolizadora	1	240,051.00
Báscula 5 kg aproximación	1	236,605.50
TOTAL :		9'798,758.50

Tabla 40: Alternativa 2: inversión con el uso de motoescrpas.

Tipo	Cantidad	Costo Total (\$)
Tractor sobre orugas	2	4'760,000.00
Motoescrpa	1	2'839,081.00
Motoconformadora	2	1'906,708.00
Compactador pata de cabra	2	1'358,172.00
Petrolizadora	1	240,051.00
Báscula 5 kg aproximación	1	236,605.50
TOTAL :		11'340,617.50

7.5.4 Costo de insumos auxiliares

En estos se incluyen los necesarios para la operación adecuada y segura dentro de las instalaciones así como las que se realicen en el frente de trabajo. Los utilizados para la operación del ejemplo planteado se presentan en la Tabla 41. En la Tabla 42 se presenta el costo erogado por los vehículos a utilizar en el relleno sanitario.

Tabla 41: Costo de insumos auxiliares.

Concepto	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Botas de trabajo	20	115.20	2,304.00
Cascos de fibra de vidrio	20	33.60	672.00
Equipo de comunicación	3	1,865.00	5,595.00
Extintores	15	304.00	4,560.00
Guantes de gamuza	20	25.03	500.60
Lentes p/polvo	20	27.70	554.00
Señalamientos	15	180.00	2,700.00
TOTAL :			16,885.60

Tabla 42: Costo de vehículos.

Concepto	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Pick-up 1 ton	1	80,113.00	80,113.00
TOTAL :			80,113.00

7.5.5 Muebles y enseres para oficina

En base al personal administrativo empleado y las necesidades que se requieren, se adquirirán los muebles y enseres para oficina presentados en la Tabla 43, los cuales indican sus costos respectivos.

Tabla 43: Costo de muebles y enseres para oficina.

Concepto	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Aire acondicionado 1 ton.	1	5,320.00	5,320.00
Archiveros metálicos 2 gab.	2	1,160.89	2,321.78
Calculadora con impresora	2	1,520.30	3,040.60
Cestos para basura	2	110.00	220.00
Escritorio ejec. línea 2000	1	3,737.78	3,737.78
Escritorios básicos línea 2000	1	1,680.00	1,680.00
Máquina de escribir Olympia	1	2,658.25	2,658.25
Sillas secretariales "claudia"	1	689.56	689.56
Sillón ejec. "activo"	1	855.35	855.35
Varios	Lote	350.00	350.00
TOTAL :			20,873.32

7.5.6 Costos por obra civil

Estos se deben a las indicaciones establecidas en el Proyecto de Norma NOM-084-ECOL-1994 (Anexo) y a otros que se consideran para la correcta operación del relleno sanitario; se presentan en la Tabla 44.

Tabla 44: Costo de obra civil.

Concepto	Cantidad	Costo (\$)
Trabajos preliminares	Lote	5,761.84
Oficina	Lote	29,647.00
Casetas	Lote	20,088.32
Almacén y talleres	Lote	29,932.00
Inst. eléctrica e hidráulica	Lote	17,749.59
Cerca perimetral	Lote	10,833.20
Zona de báscula	Lote	7,930.25
Pozos de monitoreo p/lixiv.	Lote	35,236.87
Captación de lixiviados	Lote	17,409.87
Pozos monitoreo biogas	Lote	39,256.33
Geomembrana + arena	Lote	245,124.61
TOTAL :		458,969.88

7.5.7 Resumen

A continuación se presentan los rubros que se considerarán para desarrollar la evaluación económica. Estos parámetros se relacionan tanto con los aspectos técnicos como comerciales, económicos, de organización, administrativos y financieros, los cuales son necesarios para determinar la viabilidad y perspectivas de desarrollo del proyecto.

1. Costos mensuales:

a) Operativos

- Agua + Electricidad: \$ 1,988.19

b) Administrativos

- M.O. Administrativa: \$ 9,844.27

c) M.O. operativa

- Directa: \$ 18,484.69

- Indirecta: \$ 8,444.98

\$ 26,929.67

d) Consumo del equipo (cargador + camión): \$ 125,388.63

e) Consumo del equipo (motoescrepas): \$ 108,913.41

2. Inversiones:

a) Cargador + camión.

- Equipo auxiliar: \$ 16,885.60

- Maquinaria: \$ 9'798,758.50

- Vehículos: \$ 80,113.00

- Muebles: \$ 20,873.32

- Obra civil: \$ 458,969.88

\$ 10'375,600.30

b) Motoescrepas.

- Equipo auxiliar: \$ 16,885.60

- Maquinaria: \$ 11'340,617.50

- Vehículos:	\$	80,113.00
- Muebles:	\$	20,873.32
- Obra civil:	\$	458,969.88
	\$	11'917,459.30

3. Financiamiento: se propone utilizar un crédito con la siguientes características:

- a) Capital 70%
- b) Crédito 30%
- c) Intereses 16%

4. Otros factores:

- a) P.T.U. 10%
- b) Impuestos 35%
- c) Rescate del equipo 5%

Con esta información se procede a realizar el flujo de efectivo que se presenta en la Tabla 45 y 46 en hojas subsecuentes.

Para realizar un análisis de sensibilidad del proyecto en el tiempo de su vida útil, se propone realizarlo tomando como referencia la tarifa a cobrar por la disposición final de los residuos sólidos en el relleno sanitario municipal. Esto se realiza con el propósito de verificar cual es la tarifa para la que el proyecto es rentable. Al realizar dicho análisis, en las Tablas 47 y 48, y en la Figura 22 se puede observar que con la vida útil de 13 años (Capítulo 4) que el terreno permite ser explotado de acuerdo a la generación de residuos sólidos calculada y con una TREMA de la empresa fijada para un proyecto de riesgo medio del 6%, ambas alternativas de inversión arrojan un resultado similar de \$27.00/ton, con la diferencia de que la inversión inicial en la segunda alternativa el desembolso es mucho mayor. Por esto, se propone escoger la alternativa en la que se utilicen cargadores y camiones.

**Tabla 47: Alternativa 1
Cargador + Camión.**

Tarifa (\$)	TIR (%)
22	-3
23	-1
24	1
25	3
26	4
27	5
28	7
29	8
30	9
31	11
32	12
33	13

Tabla 48: Alternativa 2
Motoescrapas

Tarifa (\$)	TIR (%)
22	-2
23	-1
24	1
25	2
26	4
27	5
28	6
29	7
30	8
31	10
32	11
33	12

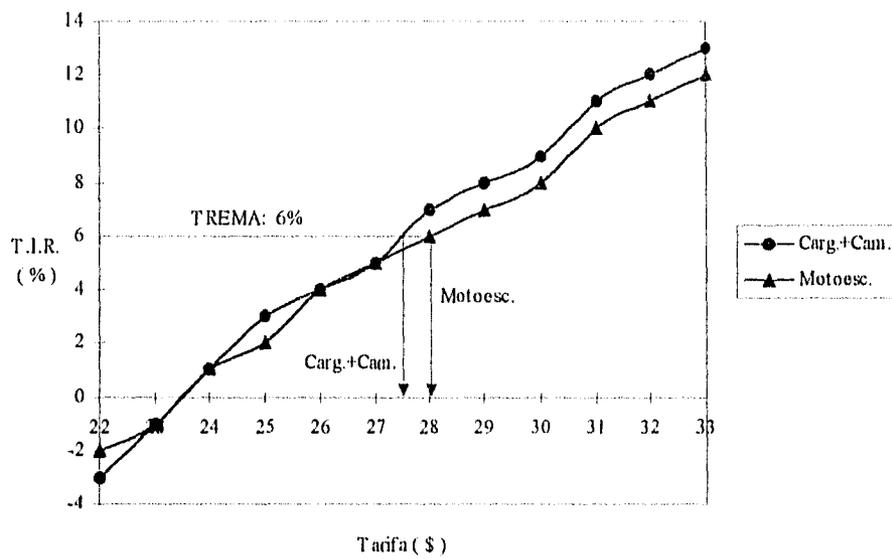


Fig. 22: Análisis de sensibilidad del proyecto tomando como variable la tarifa por disposición de residuos sólidos.

Tabla 47: Alternativa 1 - inversión usando cargador y camiones.

Datos:

Agua potable + energía	1,988.19
Mano de obra:	26,929.67
Administración:	9,844.27
Maquinaria:	9,798,758.50
Vehículos:	80,115.00
Equipo auxiliar:	16,885.60
Mobiliario:	20,873.52
Obra civil:	458,969.88
Mantenimiento y consumos:	125,388.63
Pzas. desgaste:	5,850.00
Tarifa ton:	27.32
Renta de terreno:	20,000.00
Rescate:	4%
Impuestos:	55%
P.T.U.:	10%

Concepto	Periodo de Depreciación	Rescate:
Maquinaria	5 años	5%
Vehículos	4 años	0%
Equipo auxiliar	3 años	0%
Mobiliario	5 años	0%
Obra civil	13 años	0%

Inversión inicial
10,375,600.30

Vida del proyecto (años)
13

Financiamiento:

Capital	70%
Crédito	30%
Intereses	16%

Generación: 12,318.87 ton/mes
Constante / anualizar: 12

FLUJO DEL PROYECTO
(Alternativa: cargador + camión)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
AÑOS														
1. INGRESOS		4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31
Otros ingresos (rescate maq.)														489,937.93
2. COSTOS OPERATIVOS														
Mano de obra		323,155.98	323,155.98	323,155.98	323,155.98	323,155.98	323,155.98	323,155.98	323,155.98	323,155.98	323,155.98	323,155.98	323,155.98	323,155.98
Agua + Energía		23,858.28	23,858.28	23,858.28	23,858.28	23,858.28	23,858.28	23,858.28	23,858.28	23,858.28	23,858.28	23,858.28	23,858.28	23,858.28
Renta de terreno		240,000.00	240,000.00	240,000.00	240,000.00	240,000.00	240,000.00	240,000.00	240,000.00	240,000.00	240,000.00	240,000.00	240,000.00	240,000.00
Mantenimiento y consumos		1,504,663.51	1,504,663.51	1,504,663.51	1,504,663.51	1,504,663.51	1,504,663.51	1,504,663.51	1,504,663.51	1,504,663.51	1,504,663.51	1,504,663.51	1,504,663.51	1,504,663.51
Pzas. desgaste		70,200.00	70,200.00	70,200.00	70,200.00	70,200.00	70,200.00	70,200.00	70,200.00	70,200.00	70,200.00	70,200.00	70,200.00	70,200.00
Depreciación de maquinaria		716,063.12	716,063.12	716,063.12	716,063.12	716,063.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Depreciación de vehículos		6,162.54	6,162.54	6,162.54	6,162.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Depreciación de equipo auxiliar		1,298.89	1,298.89	1,298.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Depreciación de mobiliario		1,605.64	1,605.64	1,605.64	1,605.64	1,605.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Depreciación de obra civil		35,305.38	35,305.38	35,305.38	35,305.38	35,305.38	35,305.38	35,305.38	35,305.38	35,305.38	35,305.38	35,305.38	35,305.38	35,305.38
TOTAL COSTOS		2,877,940.89	2,877,940.89	2,877,940.89	2,877,940.89	2,877,940.89	2,161,877.77	2,161,877.77	2,161,877.77	2,161,877.77	2,161,877.77	2,161,877.77	2,161,877.77	2,161,877.77
3. UTILIDAD OPERATIVA		1,168,074.42	1,168,074.42	1,168,074.42	1,168,074.42	1,168,074.42	1,884,137.54	1,884,137.54	1,884,137.54	1,884,137.54	1,884,137.54	1,884,137.54	1,884,137.54	2,374,075.47
Gastos administración		118,131.20	118,131.20	118,131.20	118,131.20	118,131.20	118,131.20	118,131.20	118,131.20	118,131.20	118,131.20	118,131.20	118,131.20	118,131.20
Intereses del crédito		498,028.81	327,790.66	142,571.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL FLUJO DE OPERACIÓN		3,494,108.91	3,323,862.75	3,138,643.63	2,996,072.09	2,996,072.09	2,280,008.97	2,280,008.97	2,280,008.97	2,280,008.97	2,280,008.97	2,280,008.97	2,280,008.97	2,280,008.97
5A. UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		351,914.40	722,152.56	907,371.68	1,049,943.22	1,049,943.22	1,766,006.34	1,766,006.34	1,766,006.34	1,766,006.34	1,766,006.34	1,766,006.34	1,766,006.34	1,766,006.34
Impuestos		193,170.04	252,753.40	317,580.09	367,480.13	367,480.13	618,102.22	618,102.22	618,102.22	618,102.22	618,102.22	618,102.22	618,102.22	618,102.22
P.T.U.		55,191.44	72,215.26	90,737.17	104,994.32	104,994.32	176,600.63	176,600.63	176,600.63	176,600.63	176,600.63	176,600.63	176,600.63	176,600.63
5B. UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS		303,552.92	397,183.91	499,054.42	577,468.77	577,468.77	971,303.49	971,303.49	971,303.49	971,303.49	971,303.49	971,303.49	971,303.49	971,303.49
4. FUENTES Y USOS DE RECURSOS														
AÑOS														
A) FUENTES														
Saldo anterior		0.00	0.00	0.00	368,417.87	1,336,605.45	1,330,442.91	1,006,608.86	1,006,608.86	1,006,608.86	1,006,608.86	1,006,608.86	1,006,608.86	1,006,608.86
Aportaciones	7,262,920.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Crédito	3,112,680.09													
Ingresos		4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31	4,046,015.31
Depreciación		760,435.57	760,435.57	760,435.57	759,136.68	752,974.14	35,305.38	35,305.38	35,305.38	35,305.38	35,305.38	35,305.38	35,305.38	35,305.38
Rescate de activos														489,937.93
Total	10,375,600.30	4,806,450.88	4,806,450.88	4,806,450.88	4,805,151.99	4,798,989.45	4,081,320.69	4,081,320.69	4,081,320.69	4,081,320.69	4,081,320.69	4,081,320.69	4,081,320.69	4,571,258.61
B) USOS														
Flujo de operación		2,996,072.09	2,996,072.09	2,996,072.09	2,996,072.09	2,996,072.09	2,280,008.97	2,280,008.97	2,280,008.97	2,280,008.97	2,280,008.97	2,280,008.97	2,280,008.97	2,280,008.97
Inversión de activos	10,375,600.30													
Impuestos		248,361.48	324,968.65	408,317.26	472,474.45	472,474.45	794,702.85	794,702.85	794,702.85	794,702.85	794,702.85	794,702.85	794,702.85	794,702.85
Intereses		498,028.81	327,790.66	142,571.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pago de capital		1,063,988.49	1,157,619.48	891,072.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	10,375,600.30	4,806,450.88	4,806,450.88	4,438,033.01	3,468,546.54	3,468,546.54	3,074,711.82	3,074,711.82	3,074,711.82	3,074,711.82	3,074,711.82	3,074,711.82	3,074,711.82	3,074,711.82
Saldo final		0.00	0.00	368,417.87	1,336,605.45	1,330,442.91	1,006,608.86	1,006,608.86	1,006,608.86	1,006,608.86	1,006,608.86	1,006,608.86	1,006,608.86	1,496,546.79
5. FLUJO DEL INVERSIONISTA														
AÑOS														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

**CAPÍTULO 8:
CONCLUSIONES.**

8. CONCLUSIONES

- 1) Debido al aumento del interés público por la protección ambiental, para reducir el volumen de desperdicios sólidos generados deben tomarse acciones específicas. Algunas ideas aplicables son:
 - a) Seleccionar, cuando sea posible, productos que no tengan empaques innecesarios.
 - b) Usar en oficinas tazas para café reusables.
 - c) Reciclar el correo de desecho y guardar las cartas para hacer anotaciones sobre ellos.
 - d) Usar para almacenamiento de comida contenedores reusables.
 - e) Usar baterías recargables.
 - f) Dejar los cortes de césped sobre el jardín para usarse como material de composta.
 - g) Usar ambos lados del papel en la oficina, casa o escuela, aún para hacer anotaciones como para hacer recordatorios propios o para los colegas.
 - h) Usar servilletas de tela o esponjas para lavar la loza, las cuales puedan ser lavadas y puedan usarse de nuevo.
 - i) Intentar con alternativas para envolver regalos como revistas de caricaturas, portadas de revistas, mapas viejos u otros materiales.
 - j) Vender o donar artículos que no se quieran en lugar de desecharlos.
- 2) Los materiales con que se producen bienes de servicios son tomados de la tierra, procesados, usados un tiempo, y luego en cantidades significantes son depositados en rellenos sanitarios, los cuales continuarán siendo el método para el manejo de desperdicios predominante en el futuro cercano.
- 3) El desperdicio urbano se convirtió en un problema crítico cuando las personas empezaron a emigrar a las ciudades y la densidad poblacional aumentó. La disposición de la basura se volvió una necesidad práctica, no solo por el mal olor que despedía sino por la desagradable vista que presentaba apilada en las calles; los científicos aprendieron que era un peligro serio para la salud.
- 4) Los rellenos sanitarios han probado ser el método más económico de disposición, debido a que pueden recibir casi todo tipo de desecho proveniente de casas-habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, así como residuos industriales que no se deriven de su proceso.
- 5) Muchas comunidades sufren por el problema de recolección, el cual afecta directamente la operación del relleno sanitario; pero para mantener a una comunidad limpia se requiere más que la recolección organizada de los desechos. La educación pública es un factor muy importante debido a que existen personas que "abandonan" el desperdicio en lugar de disponerlo apropiadamente. Algunos estudios han demostrado que las personas es más probable que arrojen la basura donde ven que ya se ha acumulado, donde no son responsables por la limpieza del área. Por lo tanto, la misma comunidad debe llevar a cabo programas para cambiar estas prácticas adquiriendo madurez ecológica.

- 6) Es muy importante preocuparse de la educación temprana de los niños para reciclar o reusar. Si no se controlan o reutilizan los residuos que se producen se tendrán grandes crisis en el futuro; es imprescindible educar a los jóvenes para que en el futuro nuestro País tenga un desarrollo sustentable. Además, se debe desarrollar una participación corresponsable de los diversos sectores que integran a la sociedad:
- a) promocionando productos multiusos, con mayor vida útil y envases retornables de preferencia de cristal.
 - b) reduciendo la producción de envases y embalajes de plástico.
 - c) reusando los envases y embalajes.
 - d) cambiando los hábitos de consumo.
- 7) Aunque los “pepenadores” representan un problema para la operación de cualquier relleno sanitario, su actividad representa una fuente de empleo para muchas personas que “viven de la basura”. El reciclaje es necesario, pero no es la solución única al problema de los residuos sólidos municipales, la separación es sólo una forma de tratar los residuos; de aquí la importancia de separar los subproductos en plantas que permitan recuperar materiales para otros procesos, como pueden ser:
- a) los residuos alimenticios y de jardinería para composteo.
 - b) subproductos con alto poder calorífico para incineración.
 - c) materiales indeseables para el relleno sanitario, como los neumáticos de vehículos.
- 8) Debe existir una balanza entre los elementos principales que integran a la nación, es decir, entre la autoridad encargada de aplicar las normas y reglamentos y la sociedad que debe ayudar principalmente con educación y concientización para resolver el problema de disposición de desechos sólidos. Modificar los hábitos y las costumbres implica un cambio cultural, significa aprender a reciclar o reusar. Dentro de estos conceptos deben promoverse cambios entre quienes intervienen en el sistema de recolección y los que participan en los rellenos sanitarios existentes y futuros. Hay que formalizar las relaciones entre éstos e impedir que se formen pueblos de pepenadores instalados dentro de tiraderos de basura.
- 9) Aún existe una incógnita referente a qué hacer con la basura que día a día generamos en nuestras casas, edificios y en la misma calle:
- a) Reducir la generación de basura mediante la concientización y educación de la población.
 - b) Fomentar la separación de basura desde el origen a través de un programa civil que invite a la población a separar los desechos en tres tipos.
 - c) Inducir a que los trabajadores de limpia involucrados en la recolección y transporte, concentren más a estas actividades que a la pre-pepena mediante acuerdos con actividades y gremios de pepenadores.
 - d) Apoyar a las uniones de pepenadores y a las plantas para que reciclen productos de mejor calidad, evitando llevarles en forma indiscriminada lo orgánico y sanitario y procurando una mayor cantidad de productos susceptibles de reciclar en beneficio de la ecología.

- e) Instrumentar que los desechos sólidos no seleccionados en la pepena sean confinados bajo la técnica de relleno sanitario para cumplir con las normas exigidas en la materia.
- f) Disponer la menor cantidad de residuos sólidos, reduciendo los costos y aumentando la vida útil de los lugares de disposición final.
- g) La basura es un gran problema, pero puede ser una gran posibilidad de empleos y de reactivación económica.

- 10) El incremento acelerado de la población urbana que presenta nuestro país provoca que la generación per-cápita de residuos sólidos aumente en forma exagerada. Aunado a esto, la crisis económica limita el pago de salarios, el gasto y la importación de equipos y repuestos requeridos para la construcción y operación de los rellenos sanitarios municipales.
- 11) Al igual que para cualquier obra de construcción en ingeniería, debe llevarse un riguroso control de calidad de los materiales empleados, tanto para proteger los acuíferos como para la conducción de lixiviados y gases, material de cubierta y material usado para el cierre. En la utilización de geomembranas deben tomarse en cuenta los cuidados indicados por el fabricante, así como los vertidos en la presente tesis, con el propósito de evitar cualquier riesgo de falla. Normalmente los mismos distribuidores son los encargados de realizar la instalación del geosintético, pero para asegurar la calidad dentro del relleno es conveniente implementar un programa de control de calidad conducido por un tercero que no sea juez y parte dentro del proyecto.
- 12) Aunque la maquinaria representa el rubro más importante dentro de un proyecto de relleno sanitario, debido a que no existen estadísticas de equipos utilizados en el país para la operación de un relleno sanitario, se propone el uso de equipo que a consideración práctica cumple con las necesidades del mismo. Sin embargo, debe hacerse un estudio para conocer la realidad del mercado para decidir si se debe comprar o rentar el equipo necesario, o si la capacidad del mismo es adecuada, pues la entidad normativa sólo emite el permiso para operar el relleno sanitario y corresponde únicamente a la empresa que lo construya y opere definir el equipo que cumpla con los requerimientos.
- 13) Es importante señalar el abismo existente entre la normatividad de México y la de Estados Unidos. Aunque la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) definió desde 1988 los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo por residuos municipales, hasta la fecha las normas mexicanas referentes a rellenos sanitarios - las cuales se han quedado como Proyecto de Norma (ver Anexo) - no se han aplicado en forma obligatoria, se siguen desarrollando en forma indiscriminada tiraderos a cielo abierto a lo largo del País. Para disminuir esta práctica deben definirse obligaciones y sanciones como las establecidas en los Estados Unidos. Además, al aplicar los Proyectos de Norma señalados, se podría competir ambientalmente con otros países, permitiendo llevar una estadística real de lo que se recibe en los rellenos sanitarios y, en su momento, efectuar las correcciones pertinentes en cuanto al volumen proyectado y a estudios de generación realizados.

- 14) Debido a que después del cierre del relleno sanitario su área puede ser empleada con propósitos diversos, usualmente áreas verdes, es de vital importancia verificar que el sitio cumpla con los requisitos de protección ambiental. Desde que se elige el material a colocar para el cierre y la vegetación, se deberá plantear y operar un plan para verificar los niveles máximos de los contaminantes del aire producidos por la descomposición de los residuos sólidos dispuestos; la correcta aplicación de este plan permitirá cumplir con la normatividad y con la obligación moral que se adquiere al construir, operar y cerrar un relleno sanitario municipal. El equipo y técnicas empleadas durante el monitoreo son aspectos que no deben ser descuidados, ya que de esto dependerá, en gran medida, obtener resultados válidos para realizar el análisis de las condiciones ambientales de la instalación y, con ello, poder implementar las acciones que conduzcan a un buen control de los impactantes.
- 15) En proyectos de rellenos sanitario normalmente no se hacen estudios de evaluación económica, los cuales permiten saber cual es la tarifa que hace que el proyecto sea rentable para una empresa. Sin embargo, la inflación que se proyecte en un periodo dado hace que la tendencia actual contribuya a dificultar que la viabilidad económica de cualquier proyecto sea más difícil de predecir. Es conveniente realizar estudios de este tipo para contar con una base sólida para la toma de decisiones.
- 16) El ejemplo práctico se desarrolló sin la inflación correspondiente a cada uno de los rubros analizados, debido a que ésta se utiliza solamente cuando varios rubros tienen representatividad económica en el proyecto; la maquinaria utilizada en un relleno sanitario representa casi el 90% de los insumos requeridos, lo que nos lleva a realizar el análisis económico sin la inflación correspondiente. Sin embargo, la hoja de cálculo presentada en los Anexos se puede modificar para incluir la inflación correspondiente a cada uno de los rubros representativos; el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) y la Inflación pueden ser obtenidos de las Refs. 16 y 17 respectivamente.
- 17) Finalmente, es sumamente importante realizar la correcta selección del sitio donde se pretenda emplazar un relleno sanitario, debido a que a partir de ésta se dará forma a un proyecto de ingeniería necesario y con características que requieren de un cuidadoso procedimiento de estudio. Además, la buena o mala operación de un relleno sanitario, depende de las medidas de control que se apliquen, de la normatividad existente y de la concientización pública y de los particulares que lo desarrollen; para evitar o disminuir la alteración que los impactantes ambientales generados en un relleno sanitario municipal puedan tener sobre su entorno, es imprescindible aplicar los criterios vertidos en la presente tesis cuyo objetivo fundamental es el de prevenir la contaminación del entorno por los residuos sólidos dispuestos.

**CAPÍTULO 9:
BIBLIOGRAFÍA.**

9. BIBLIOGRAFÍA

1. *México, Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1991-1992*, SEDESOL - Instituto Nacional de Ecología, Edigraf Watson-Gómez, S.C., Julio 1993.
2. *Characterization of MSW in the US: 1994 Update*, U.S. Environmental Protection Agency, Prepared by Franklin Assoc., 1994.
3. *Bio Cycle Magazine*, J.G. Press, April 1995.
4. *Municipal Solid Waste Factbook*, An Electronic Disk Reference Manual version 2.0, U.S. Environmental Protection Agency, May 1995.
5. *Solid Waste: Engineering Principles and Management*, Tchobanoglous, et al., McGraw Hill, 1977.
6. *Control de la Contaminación por Residuos Sólidos Municipales e Industriales*, 1a. Parte: Residuos Sólidos Municipales, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, México 1988.
7. *Geotechnical Practice for Waste Disposal '87*, Proceedings of a Specialty Conference sponsored by the Geotechnical Engineering Division of the American Society of Civil Engineers, University of Michigan, June 15-17, 1987.
8. *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*, Novena Edición, Editorial Porrúa, México, 1994.
9. *Geotechnology of Waste Management*, Issa S. Oweis & Raj P. Khera, Butterworth & Co. Ltd., 1990.
10. *Proyecto Tipo de Relleno Sanitario*, Parte 1: Antecedentes para el Diseño, Documentos Técnicos 1994-2, Serie: Medio Ambiente, C.I.C.M., A.C. - SEDESOL, Noviembre 1994.
11. *Solid Waste Landfills Correspondence Course*, Philip O'Leary & Patrick Walsh, Solid and Hazardous Waste Education Center, University of Wisconsin-Madison, January 1995.
12. *Ley Federal del Trabajo: Comentarios, Prontuario, Jurisprudencia y Bibliografía*, Alberto Trueba Urbina y Jorge Trueba Barrera, 54a. Edición, Editorial Porrúa, México, 1986.

13. *Design, Construction, and Monitoring of Sanitary Landfill*, Amalendu Bagchi, Wisconsin Department of Natural Resources, John Wiley & Sons, 1990.
14. *Principios de Ingeniería Económica*, Eugene L. Grant, W. Grant Ireson, Richard S. Leavenworth, CECOSA, 2a. Edición en Español, México 1989.
15. *Diplomado en el Ciclo de Vida de los Proyectos de Inversión: Formulación y Evaluación*, Nacional Financiera S.N.C., Dirección de Desarrollo Empresarial, 1a. Edición, México 1992.
16. *El Mercado de Valores*, revista mensual, Nacional Financiera S.N.C., Subdirección de Información Técnica y Publicaciones.
17. *Informe Anual del Banco de México*, Banco de México S.A., Subdirección de Investigación Económica, México, D.F.

CAPÍTULO 10:
ANEXOS.

10.1 Terminología.

Absorción: Incorporación y fijación de una sustancia en el cuerpo de otra, cuando el fenómeno no se limita a tan sólo a la superficie.

Acción Microbiana: Proceso de degradación de la materia orgánica en los residuos debido principalmente a bacterias y hongos, los cuales se hidralizan y oxidan a través de enzimas.

Adsorción: Es la operación en la que una determinada sustancia (adsorbato) se transfiere desde un fluido hasta la superficie de un sólido (adsorbente), cuyas paredes están en contacto con dicho fluido.

Agente Activo Tóxico: Cualquier elemento, sustancia o mezcla de sustancias que al incorporarse a los ecosistemas les produce efectos adversos.

Aireación: Inclusión del oxígeno de la atmósfera, por medios naturales o mecánicos, para la degradación por vía aerobia de todos aquellos residuos biodegradables.

Almacenamiento: La acción de retener temporalmente los residuos sólidos en tanto se procesan para su aprovechamiento, se entregan al servicio de recolección, o se disponen.

Biodegradables: Cualidad que tiene toda materia de tipo orgánico, para ser metabolizada por medios biológicos.

Características Biológicas: Contenido de organismos en los residuos sólidos, medido a través de indicadores, tales como: Número Más Probable (N.M.P.), Cuenta en Placa y Resultados de Ensayos Biológicos.

Características Físicas: Propiedades que definen el estado de la materia que constituye a todo residuo sólido, así como aquellas que no alteran o modifican su naturaleza y composición. Los parámetros más empleados para determinarlas son: Densidad, Humedad y Poder Calorífico.

Características Químicas: Propiedades que definen la potencialidad de la materia contenida en todo tipo de residuos sólidos para transformarse, cambiar su energía o alterar su estado. Los parámetros más empleados para determinarlas son: pH, Contenido Orgánico Total, Carbono Total, Fósforo Total, Nitrógeno Total, Relación Carbono-

Nitrógeno, Cenizas, Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O.₅), Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.₅), Azufre, Sales, Ácidos, Bases y Metales Pesados.

Cenizas: Producto final de la combustión de los residuos sólidos.

Composteo: El proceso de estabilización biológica de la fracción orgánica de los residuos sólidos, bajo condiciones controladas, para obtener un mejorador orgánico de suelos.

Contaminante: Todo elemento, materia, sustancia, compuesto, así como toda forma de energía térmica, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido que al incorporarse o actuar en cualquier elemento del medio físico, alteran o modifican su estado y composición; o bien, afectan la flora, la fauna o la salud humana. Debe entenderse como medio físico al suelo, aire y agua.

Contenedores: Recipientes metálicos o de cualquier otro material apropiado según las necesidades, utilizadas para el almacenamiento de los residuos sólidos generados en centros de gran concentración, lugares que presenten difícil acceso, o bien en aquellas zonas donde se requieran.

Cuantificación: Proceso mediante el cual, se determina la composición en peso de cada uno de los subproductos contenidos en los residuos sólidos.

Degradable: Cualidad que presentan determinadas sustancias o compuestos, para descomponerse gradualmente por medios físicos, químicos o biológicos.

Densidad: Masa o cantidad de materia de un determinado residuo sólido, contenida en una unidad de volumen.

Disposición Final: El depósito permanente de los residuos en sitios y condiciones para evitar daños a los ecosistemas.

Ecosistemas: Unidad básica de interacción de los organismos vivos entre sí y sobre el ambiente, en un espacio determinado.

Especimen: Es cada una de las porciones de material que se extraen de la muestra de residuos

sólidos, suficientes para efectuar los análisis correspondientes.

Estación de Transferencia: Obra de ingeniería para transbordar los residuos sólidos de los vehículos de recolección, para conducirlos a los sitios de tratamiento o disposición final.

Fauna Nociva: Conjunto de especies animales potencialmente dañinas para la salud y la economía, que nacen, crecen, se reproducen y se alimentan de los residuos orgánicos que son depositados en tiraderos, basurales y rellenos.

Generación: Cantidad de residuos sólidos originados por una determinada fuente en un intervalo de tiempo.

Incineración: Proceso de combustión controlada para tratar los residuos sólidos.

Lixiviado: Líquido contaminante que resulta del paso del agua a través de un estrato de residuos sólidos.

Monitoreo: Conjunto de actividades necesarias para conocer y evaluar la calidad de un determinado elemento del ambiente.

Muestra: Parte representativa de un universo o población finita, obtenida para conocer sus características.

Peso Volumétrico: Peso de los residuos sólidos, contenidos en una unidad de volumen.

Pirólisis: Descomposición fisicoquímica del materia degradable de los residuos sólidos, debido a la acción de la temperatura en una atmósfera deficiente de oxígeno.

Reciclaje: Proceso de transformación de los residuos sólidos para fines productivos.

Recolección: Acción de tomar los residuos sólidos de sus sitios de almacenamiento, para depositarlos en el equipo destinado a las estaciones de transferencia, instalaciones de tratamiento o sitios de disposición final.

Relleno Sanitario: Método de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos municipales, los cuales se depositan, se esparcen,

compactan al menor volumen práctico posible y se cubren con una capa de tierra, al término de las operaciones del día.

Residuo: Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumos, utilización o tratamiento, cuya calidad no permite incluirlo nuevamente en el proceso que lo generó.

Residuo Sólido: Cualquiera que posea suficiente consistencia para no fluir por sí mismo.

Residuo Sólido Municipal: Aquellos que se generan en: casas-habitación, parques, jardines, vía pública, oficinas, sitios de reunión, mercados, comercios, bienes muebles, demoliciones de construcciones, insituciones, establecimientos de servicio y en general todos aquellos generados en actividades municipales que no requieran técnicas especiales para su control, excepto los peligrosos y potencialmente peligrosos de hospitales, clínicas, laboratorios y centros de investigación.

Reuso: Acción de usar un residuo sólido, sin previo tratamiento.

Subproductos: Diferentes constituyentes de los residuos sólidos.

Selección: Método por el cual se separan los residuos sólidos con base en una clasificación previamente establecida.

Tolerancia: Nivel máximo permisible de agentes activos tóxicos en los residuos, de acuerdo a lo establecido por las Normas correspondientes.

Tratamiento: El proceso que sufren los residuos para eliminar su peligrosidad o hacerlos reutilizables.

10.2 Normas Mexicanas sobre Residuos Sólidos.

Norma Mexicana NMX-AA-15-1985: Muestreo - Método de Cuarteo

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

Esta Norma establece el método de cuarteo para residuos sólidos municipales y la obtención de especímenes para los análisis en el laboratorio.

Para aquellos residuos sólidos de características homogéneas, no se requiere seguir el procedimiento descrito en esta Norma.

2. MÉTODO DE CUARTEO.

Para el cuarteo, la muestra debe ser representativa de la zona o estrato socioeconómico del área en estudio, obtenida según la Norma Mexicana NMX-AA-61-1985, Determinación de la Generación.

2.1 APARATOS Y EQUIPO

- Básculas de piso, con capacidad de 200 kg.
- Bolsas de polietileno de 1.10 x 0.90 m y calibre mínimo del No. 150, para el manejo de los subproductos.
 - Palas curvas.
 - Bieldos.
 - Overoles.
 - Guantes de carnaza.
 - Escobas.
 - Botas de hule.
 - Cascos de seguridad.
 - Mascarillas protectoras.
 - Papelería y varios (cédulas de campo, marcadores, ligas, etc.)

2.2 PROCEDIMIENTO

Para efectuar este método de cuarteo, se requiere la participación de cuando menos tres personas.

El equipo requerido antes descrito, estará de acuerdo con el número de personas que participen en el cuarteo.

Para realizar el cuarteo, se toman las bolsas de polietileno conteniendo los residuos sólidos, resultado del estudio de generación según la Norma Mexicana NMX-AA-61-1985: Determinación de la Generación. En ningún caso se tomarán más de 250 bolsas para efectuar el cuarteo.

El contenido de dichas bolsas, se vaciará formando un montón sobre un área plana horizontal de 4 m x 4 m de cemento pulido o similar y bajo techo.

El montón de residuos sólidos se traspaleará con pala y/o bieldo, hasta homogeneizarlo. A continuación, se divide en cuatro partes aproximadamente iguales A, B, C, y D, y se eliminan las partes opuestas, repitiendo esta operación hasta dejar un mínimo de 50 kg de residuos sólidos, con los cuales se debe hacer la selección y cuantificación de subproductos, de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-22-1985.

De las partes eliminadas del primer cuarteo, se toman 10 kg aproximadamente de residuos sólidos para los análisis de laboratorio físicos, químicos y biológicos; con el resto se determina el peso volumétrico de los residuos sólidos "in-situ", según Norma Mexicana NMX-AA-19-1985.

La muestra obtenida para los análisis físicos, químicos y biológicos debe trasladarse al laboratorio en bolsas de polietileno debidamente selladas e identificadas (véase marcado), evitando que queden expuestas al sol durante su transporte; además, se debe tener cuidado en el manejo de la bolsa que contiene la muestra para que no sufra ninguna rotura. El tiempo máximo de transporte de la muestra al laboratorio no debe exceder de 8 horas.

Se han considerado, las cantidades anteriores como óptimas, sin embargo, éstas pueden variar de acuerdo a las necesidades. Sólo en el caso de que la cantidad de residuos sólidos sea menor de 50 kg, se recomienda repetir la operación de cuarteo.

3. MARCADO

La muestra se identifica con una etiqueta la cual debe contener la siguiente información: No. de folio de la cédula de campo para el cuarteo, hora y fecha de envío, localidad, municipio, estado, procedencia de la muestra (estrato socioeconómico), temperatura y humedad relativa del ambiente, peso de la muestra en kilogramos, datos del responsable de la toma de muestra y observaciones.

4. INFORME DE CAMPO (ver cédula de campo anexa a esta Norma)

En el informe se debe indicar lo siguiente:

- Localidad, Municipio y Estado.

- Fecha y hora del cuarteo.
- Procedencia de la muestra (Estrato Socioeconómico).
- Condiciones climatológicas.
- Cantidad de residuos sólidos tomados para el cuarteo, en kg.
- Cantidad de residuos sólidos obtenidos para la selección de subproductos, en kg.
- Cantidad de residuos sólidos para los análisis físicos, químicos y biológicos, en kg.
- Datos del responsable de cuarteo.
- Observaciones.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Journal of the Sanitary Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, "Sample Weights in Solid Waste Composition Studies", Albert J. Klee & Dennis Carrth, August 1970.
- Rolle, G., Int. Research Group in Refuse Disposal (IRGR), Information Bulletin 22,23. Zurich, 1954.
- Experiencia en Campo del personal de SEDUE.

CÉDULA DE CAMPO PARA EL CUARTEO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

No. de Folio: _____

Localidad: _____ Municipio: _____ Estado: _____

Fecha y hora del cuarteo: _____

Procedencia de la muestra: _____

Condiciones climatológicas imperantes durante el cuarteo (describa): _____

Cantidad de Residuos Sólidos para el Cuarteo: _____

Cantidad de Residuos Sólidos para la Selección de Subproductos: _____

Cantidad de Residuos Sólidos para los Análisis Físicos, Químicos y Biológicos: _____

Responsable del Cuarteo:

Nombre: _____ Cargo: _____

Dependencia o Institución: _____

Observaciones: _____

Norma Mexicana NMX-AA-19-1985: Determinación del Peso Volumétrico "In Situ"

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma establece un método para determinar el peso volumétrico de los residuos sólidos municipales en el lugar en el que se efectuó la operación de "cuarteo".

2. DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN

Para determinar el peso volumétrico "in situ", se toman los residuos eliminados de la primera operación del cuarteo, la cual se realiza en la Norma Mexicana NMX-AA-15-1985: Muestreo - Método de Cuarteo.

2.1 APARATOS Y EQUIPO

- Básculas de piso con capacidad de 200 kg.
- Tambos metálicos de forma cilíndrica, con capacidad de 200 lt.
- Palas curvas.
- Overoles.
- Guantes de carnaza.
- Escobas.
- Recogedores.
- Botas de hule.
- Mascarillas.
- Papelería y varios, necesarios para la operación (cédulas de campo, marcadores, etc.).

2.2 PROCEDIMIENTO

Para efectuar esta determinación, se requiere de cuando menos 2 personas.

El equipo requerido antes descrito está de acuerdo con el número de personas que participen en la determinación. Antes de efectuar la determinación se verificará que el recipiente esté limpio y libre de abolladuras; así como también que la báscula esté nivelada. A continuación se pesa el recipiente vacío, tomando este peso como la tara del recipiente.

En caso dado de no conocer la capacidad del recipiente, ésta se determina a partir de las formulaciones aritméticas existentes según sea la geometría de dicho recipiente.

A continuación, llenar el recipiente hasta el tope con residuos sólidos homogeneizados, obtenidos de las partes eliminadas del primer cuarteo según la Norma NMX-AA-15-1985, "Muestreo - Método de Cuarteo". Golpée el recipiente contra el suelo tres veces dejándolo caer desde una altura de 10 cm.

Nuevamente agregue residuos sólidos hasta el tope teniendo cuidado de no presionar al colocarlos en el recipiente, esto con el fin de no alterar el peso volumétrico que se pretende determinar.

Se debe tener cuidado de vaciar dentro del recipiente todo el residuo, sin descartar los finos.

Para obtener el peso neto de los residuos sólidos, se pesa el recipiente con estos y se resta el valor de la tara.

Cuando no se tenga suficiente cantidad de residuos sólidos para llenar el recipiente se marca en éste la altura alcanzada y se determinará dicho volumen.

3. CÁLCULO

El peso volumétrico de los residuos sólidos se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P_v = \frac{P}{V}$$

Donde:

P_v : Peso volumétrico del residuo sólido, en kg/m^3 .

P : Peso de los residuos sólidos (peso bruto menos tara), en kg.

V : Volumen del recipiente, en m^3 .

Los resultados obtenidos al realizar la operación que se describe en esta Norma, deben reportarse en la cédula de campo anexa.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Instructivo de campo del Departamento de Desechos Sólidos de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, 1976.
- Experiencia de Campo del personal de SEDUE.

**CÉDULA DE CAMPO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO
"IN SITU" DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES**

Localidad: _____ Municipio: _____ Estado: _____

Fecha y hora de la determinación: _____

Estrato Socioeconómico muestreado: _____

Capacidad del recipiente: _____ m³

Tara del recipiente: _____ kg

Capacidad del recipiente, tomada para la determinación: _____ m³

Peso bruto (peso del recipiente con residuos sólidos): _____ kg

Peso neto de los residuos sólidos (peso bruto - tara): _____ kg

Peso volumétrico "in situ" de los residuos sólidos: _____ kg/m³

Responsable de la determinación:

Nombre: _____ Cargo: _____

Dependencia o Institución: _____

Observaciones: _____

Norma Mexicana NMX-AA-22-1985: Selección y Cuantificación de Subproductos

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma establece la selección y el método para la cuantificación de subproductos contenidos en los Residuos Sólidos Municipales.

2. APARATOS Y EQUIPO

- Báscula de piso con capacidad de 200 kg.
- Balanza granataria con capacidad de 20 kg y sensibilidad de 1 gr.
- Cribas (DGN N° 10).
- Mascarillas.
- Recogedores.
- Overoles.
- Escobas.
- Botas de hule
- Guantes de carnaza.
- Treinta bolsas de polietileno de 1.10x0.80 m y calibre mínimo de 150.
- Papelería y varios.

El equipo antes descrito estará en función del número de participantes en la determinación que marca esta Norma; se requiere para ello, cuando menos dos personas.

3. SELECCIÓN

3.1 OBTENCIÓN DE LA MUESTRA.

La muestra se extrae como se extrae como se establece en la Norma Mexicana NMX-AA-15-1985, y se toman como mínimo 50 kg, procedentes de las áreas del último cuarteo que no fueron eliminadas.

3.2 PROCEDIMIENTO.

Con la muestra ya obtenida como se establece en 3.1, se seleccionan los subproductos depositándolos en bolsas de polietileno hasta agotarlos, de acuerdo con la siguiente clasificación:

- Algodón.
- Cartón.
- Cuero.
- Residuo fino (todo material que pasa la criba DGN N° 10 (2 mm))
- Envases de cartón encerado.
- Fibra dura vegetal.
- Fibras sintéticas.

- Hueso.
- Hule.
- Lata.
- Loza y cerámica.
- Madera.
- Material de construcción.
- Material ferroso.
- Material no-ferroso.
- Papel.
- Pañal desechable.
- Plástico rígido y de película.
- Poliuretano.
- Poliestireno expandido.
- Residuos alimenticios.
- Residuos de jardinería.
- Trapo.
- Vidrio de color.
- Vidrio transparente.
- Otros.

CUANTIFICACIÓN

Los subproductos ya clasificados se pesan por separado en la balanza granataria y se anota el resultado en la hoja de registro.

El porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se calcula con la siguiente expresión:

$$PS = \frac{G_i}{G} \cdot 100$$

En donde:

- PS : Porcentaje del subproducto considerado.
- G_i : Peso del subproducto considerado, en kg; descontando el peso de la bolsa empleada.
- G : Peso total de la muestra (mínimo 50 kg).

El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes debe ser como mínimo el 95% del peso total de la muestra (G).

En caso contrario, se debe repetir la determinación.

4. REPORTE

Los resultados se anotan, como se indica en la cédula de campo anexa.

5. OBSERVACIONES

* Los cambios en peso durante la determinación, se deben principalmente a la liberación o admisión de humedad, así como a las pérdidas del residuo fino.

* Se recomienda efectuar la determinación en un lugar cerrado y bajo techo.

* Dentro de los residuos sólidos alimenticios se deben incluir todos aquellos residuos de fácil degradación, tales como: vísceras, apéndices o cadáveres de animales.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Instructivo de Campo del Departamento de Desechos Sólidos de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, 1976.

**CUANTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS SUBPRODUCTOS CONTENIDOS EN LOS
RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES.**

Localidad: _____ Municipio: _____ Estado: _____
 Fecha y hora de análisis: _____ Peso de la muestra: _____
 Estrato socioeconómico: _____ Tara de las bolsas: _____
 Responsable de análisis: _____ Dep. o Institución: _____

No.	SUBPRODUCTOS	PESO EN kg	% EN PESO	OBSERVACIONES
1	Algodón			
2	Cartón			
3	Cuero			
4	Residuo fino (todo material que pase la criba DGN No 10 (2 mm))			
5	Envase de cartón encerado.			
6	Fibra dura vegetal.			
7	Fibras sintéticas.			
8	Hueso.			
9	Hule.			
10	Lata.			
11	Loza y cerámica.			
12	Madera.			
13	Material de construcción			
14	Material ferroso.			
15	Material no ferroso.			
16	Papel			
17	Pañal desechable.			
18	Plástico de película.			
19	Plástico rígido.			
20	Poliuretano.			
21	Poliestireno expandido.			
22	Residuos de jardinería.			
23	Residuos alimenticios.			
24	Trapo.			
25	Vidrio de color.			
26	Vidrio transparente.			
27	Otros			

Norma Mexicana NMX-AA-61-1985: Determinación de la Generación

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma establece el método para determinar la generación per-cápita de residuos sólidos municipales a partir de observaciones en campo. Para efectos de aplicación de esta Norma, los residuos sólidos municipales se subdividen en domésticos, que son los generados en casas-habitación y en no domésticos.

2. APARATOS Y EQUIPO

- Báscula con capacidad mínima de 100 kg y precisión de 10 gr o similar.
- Báscula con capacidad mínima de 10 kg y precisión de 1 gr o similar.
- Tablas de apoyo, tamaño carta u oficio.
- Dos marcadores de tinta permanente, preferentemente de color negro.
- Bolsas de polietileno de 0.70 x 0.50 m y calibre mínimo del No. 200.
- Ligas de hule de 1.5 mm de ancho.
- Guantes de carnaza.
- Brochas de cerdas naturales de crin de caballo, de 0.025 m de ancho.
- Pintura de esmalte color amarillo.
- Papelería y varios (cédulas de encuestas, lápices, gomas, etc.)
- Tablas de números aleatorios y de las distribuciones Normal, "t" de student, "F" de Fisher; así como la empleada para el rechazo de observaciones, si se aplica para tal efecto, el criterio DIXON.

NOTA: El equipo y material antes descrito estará en función del número de personas a participar en el muestreo, así como en la cantidad de estratos por muestrear y en el tamaño de las premuestras.

3. GENERACIÓN PER-CÁPITA DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS

3.1 PROCEDIMIENTO.

Este parámetro se obtiene con base en la generación promedio de residuos sólidos por habitante, medido en kg/hab-día, a partir de la información obtenida de un muestreo aleatorio en campo, de cada uno de los estratos socioeconómicos de la población por analizar.

3.1.1 SELECCIÓN DEL RIESGO.

El riesgo con que se realizará el muestreo se elige con base en los siguientes factores:

- Conocimiento de la localidad.
- Calidad técnica del personal participante.
- Facilidad para realizar el muestreo.
- Características de la localidad a muestrear.
- Exactitud de la báscula por emplear.

3.1.2 TAMAÑO DE LA PREMUESTRA.

A partir del riesgo seleccionado (α) se adopta un tamaño de muestra por estrato, con base en la siguiente tabla:

Riesgo (α)	Tamaño de la muestra (n)
0.05	115
0.10	80
0.20	50

3.1.3 (*) Se determina y ubica el universo de trabajo en un plano actualizado de la localidad (zona o colonia correspondiente del estrato socioeconómico a muestrear).

3.1.4 (*) Se cuentan y numeran en orden progresivo, los elementos de universo de trabajo, para conocer su magnitud.

3.1.5 (*) Con base en el tamaño de la muestra y en el tamaño del universo de trabajo; se seleccionan aleatoriamente, los elementos de dicho universo que formarán parte de la muestra. Para realizar lo anterior, se emplea una tabla de números aleatorios como la que se anexa. El uso de esta tabla es del dominio general; puede consultarse cualquier libro de estadística para conocer su modo de empleo.

3.1.6 (*) Se identifican físicamente los elementos de la muestra, en el universo de trabajo, anotando el número aleatorio correspondiente al elemento, con pintura amarilla, en algún lugar visible de la calle donde se encuentra la casa-habitación o elemento por muestrear.

3.1.7 (*) Se recorre el universo de trabajo, visitando a los habitantes de las casas-habitación seleccionadas para la premuestra, con el fin de explicarles la razón del muestreo por realizar, así como para captar la información general, que se indica en la cédula de encuesta de campo, la cual se anexa a esta Norma. También durante el recorrido, se les entrega una bolsa de polietileno, de las características enunciadas en el inciso 2, a los habitantes de cada una de las casas-habitación de la premuestra. Se recomienda que el recorrido antes descrito se realice entre el sábado y domingo anteriores a la semana elegida para llevar a cabo el muestreo.

3.1.8 (*) El primer día del periodo de muestreo, preferentemente el lunes, se recorre el universo de trabajo para recoger en las casas-habitación de la premuestra, los residuos sólidos que hayan almacenado sus moradores en la bolsa proporcionada entre el sábado y domingo anteriores a la semana de muestreo. Es conveniente que el recorrido antes mencionado se haga lo más temprano posible del día, recomendándose las 9:00 hrs A.M., como la hora más propicia para ello. Lo anterior sirve únicamente como una operación de limpieza, con lo cual se asegura que la basura generada después del recorrido antes descrito, corresponderá únicamente al primer día de muestreo (lunes). Simultáneamente con la acción antes descrita, se entrega a los habitantes de las casas-habitación, una nueva bolsa para que almacenen los residuos sólidos generados en el primer día de muestreo (lunes).

Por último, la basura recogida de las casas-habitación el día lunes, simplemente se transfiere al equipo de recolección municipal para su disposición o tratamiento, o bien se dispone en el sitio de disposición final oficial de los residuos sólidos.

3.1.9 (*) A continuación, a partir del martes y hasta el domingo de la semana elegida para realizar el muestreo, se visitan las casas-habitación seleccionadas para la premuestra; con el fin de recogerles a sus habitantes, las bolsas de polietileno con los residuos sólidos generados en día anterior al día de la visita, y a la vez se les entrega una nueva bolsa para que almacenen los residuos sólidos que generarán el día de la visita. A la bolsa que entreguen los habitantes de las casas-habitación, se les anota con un marcador el

número aleatorio correspondiente, con el fin de evitar confusiones posteriores.

El lunes siguiente al domingo de la semana de muestreo, únicamente se recogen las bolsas con la basura generada el día anterior; terminando así esta actividad de campo.

3.1.10 (*) Después de recoger diariamente los residuos sólidos generados el día anterior, se procede a pesarlos en básculas, anotando el peso de dichos residuos, en la cédula de encuesta, en el renglón correspondiente al día que fueron generados.

3.1.11 (*) El paso siguiente es el de dividir el peso de los residuos sólidos entre el número de habitantes de las casas-habitación, para obtener la generación per-cápita de residuos sólidos en kg/hab-día, correspondiente al día en que fueron generados. El valor de la generación se anota en la cédula de encuesta, en el renglón que le corresponda.

NOTA: Se puede decir, que con el punto anterior se termina la fase de campo; quedando por realizar la evaluación de la información captada, mediante la aplicación de ciertas técnicas y modelos estadísticos, tal y como se describe a continuación.

Cabe aclarar que la información captada en campo, podrá evaluarse de distintas maneras de acuerdo con el criterio del proyectista. La evaluación que a continuación se presenta, se considera la más adecuada para los fines que se persiguen con este tipo de estudios.

3.1.12 Se calcula el promedio de la generación de basura per-cápita para cada una de las casas-habitación incluidas en la premuestra, empleando los 7 valores diarios obtenidos del muestreo. De acuerdo con lo anterior, se obtienen una serie de "n" valores promedio de generación de basura per-cápita, uno por cada casa habitación incluida en la premuestra.

3.1.13 A continuación se debe ordenar la información obtenida del punto anterior, como se ilustra continuación:

$$X_1 \leq X_2 \leq X_3 \leq \dots \leq X_i \leq \dots \leq X_{n-1} \leq X_n$$

Donde:

X_i : Promedio por casas-habitación, de los 7 valores diarios de la generación de basura-percápita obtenidos durante el periodo de muestreo.

3.1.14 El siguiente paso es el de realizar el análisis de rechazo de observaciones sospechosas, empleando cualquier método o procedimiento que la SEDUE considere confiable. En caso de aplicar el criterio Dixon para el rechazo o aceptación de observaciones sospechosas, se debe realizar lo que a continuación se describe.

Se calculará el valor estadístico (r), para las siguientes situaciones:

$r = \frac{(X_n - X_{n-(j-1)})}{(X_n - X_j)}$: Cuando se sospecha del elemento máximo de la premuestra

$r = \frac{(X_j - X_1)}{(X_{n-(j-1)} - X_1)}$: Cuando se sospecha del elemento mínimo de la premuestra

Donde:

j: Elemento del muestreo que define el límite superior del intervalo de sospecha, en la cola inferior de los datos ya ordenados.

El paso siguiente es el de calcular el valor estadístico permisible correspondiente al percentil definido por el nivel de confianza establecido por el número de observaciones correspondientes al caso que se trate. Para lograr lo anterior, se emplea la tabla No. 2, la cual se anexa a esta Norma.

Con todo lo antes realizado, se debe comparar el valor del estadístico " r ", con el estadístico definido por el nivel de confianza establecido para el muestreo $r(1-\alpha/2)$, con el fin de rechazar o aceptar la observación sospechosa de acuerdo con el siguiente criterio.

Si $r > r(1-\alpha/2)$: Se rechaza la observación sospechosa.

Si $r < r(1-\alpha/2)$: Se acepta la observación sospechosa.

3.1.15 Una vez rechazadas o aceptadas las observaciones dudosas, se procede a realizar un análisis estadístico de los " n " valores promedio, con el fin de obtener la siguiente información:

- La generación per-cápita de los valores promedio por casa-habitación, así como la desviación estándar de ellos como conjunto de valores, con respecto a la media.

3.1.16 Habiendo realizado el análisis estadístico comentado en el punto anterior se debe verificar el tamaño de la premuestra, calculando el tamaño real de la muestra, con base en la desviación estándar muestral y empleando la distribución " t " de Student.

La determinación del tamaño real de la muestra, se realiza con la siguiente expresión:

$$n_1 = \left(\frac{t * s}{E} \right)^2$$

Donde:

n_1 : Tamaño real de la muestra.

E : Error muestral en kg/hab-día, recomendándose emplear un valor comprendido en el siguiente intervalo:

$$0.04 \text{ kg/hab-día} \leq E \leq 0.07 \text{ kg/hab-día}$$

s : Desviación estándar muestral obtenida del análisis estadístico realizado en el punto anterior.

t : Percentil de la distribución " t " de Student, correspondiente al nivel de confianza definido por el riesgo empleado en el muestreo.

Sabiendo que (n) es el valor de la premuestra, se pueden encontrar la siguientes situaciones.

- Si $n_1 > n$, entonces $n_2 = n_1 - n$ por lo tanto $n_2 > 0$.

El tamaño de la muestra (n_1), resulta ser mayor que el tamaño de la premuestra (n), por lo que se deberán obtener en campo las (n_2) observaciones faltantes, de la misma zona de estudio de donde se obtuvieron las (n_1) observaciones de la premuestra, para cumplir con la confiabilidad deseada para el muestreo.

Para este caso se deberá realizar un nuevo análisis estadístico, que tome en cuenta tanto a los (n_1) elementos de la premuestra, como a los (n_2) elementos faltantes para la muestra.

- Si $n = n_1$, entonces $n_2 = 0$

El tamaño de la muestra (n_1) es igual al tamaño de la premuestra (n), por lo que no se requieren más elementos (n_2) para considerar válido el muestreo. Por ello se acepta el análisis estadístico realizado en el punto anterior.

- Si $n_1 < n$, entonces $n_2 < 0$

En este caso, el tamaño de la premuestra resulta mayor al de la muestra, tomándose dicho valor como el tamaño real de la muestra, por lo que no deben

eliminarse los elementos sobrantes de la premuestra, ya que pueden ampliarse en un momento dado el nivel de confianza del muestreo. De acuerdo con lo anterior, los estadísticos obtenidos para la premuestra se consideran válidos también para la muestra, por lo que no habrá necesidad de realizar un nuevo análisis estadístico.

3.1.17 Habiendo cumplido con lo anterior, se tiene que realizar un análisis de confiabilidad, con el fin de poder aceptar o rechazar los estadísticos de la muestra como los parámetros del universo de trabajo para el nivel de confianza establecido. Esta fase del procedimiento estadístico consiste en realizar una prueba de hipótesis de dos colas, o bien, ya sea en la cola izquierda o en la cola derecha de la distribución empleada para este análisis con el fin de definir si la media muestral (\bar{X}) es igual o difiere de la media poblacional (μ), pudiendo emplearse para este análisis la distribución Normal.

Esta fase consiste en el establecimiento de la hipótesis nula y de la hipótesis alternativa. La hipótesis nula a comprobar o rechazar es que la media muestral no difiere de la media poblacional.

$H_0: \bar{X} = \mu$ Hipótesis Nula

La hipótesis alternativa, es lo contrario de la hipótesis nula, es decir:

$H_1: \bar{X} \leq \mu$ Hipótesis Alternativa

En caso de aceptarse la hipótesis nula, se concluye que los estadísticos de la muestra, pueden ser tomados como los parámetros del universo de trabajo. Ahora bien, si la hipótesis alternativa se acepta, los estadísticos de la muestra no se toman como los parámetros del universo de trabajo, por lo que será necesario realizar un nuevo muestreo y desechar el analizado.

3.1.18 Prueba de la Razón de Varianza (F). Esta prueba se emplea para aceptar o rechazar la siguiente hipótesis.

“La media poblacional estimada para un determinado estrato socioeconómico, es igual a las medias poblacionales estimadas de los demás estratos en que se subdividió la población muestreada”.

Lo anterior es con el fin de poder concluir que en un momento dado se podrá emplear un valor promedio de la generación de basura per-cápita, para todos los estratos socioeconómicos de la población muestreada. Sólo en los casos en que SEDUE lo considere pertinente, se realizará la prueba de la Razón de Varianzas (F); por lo tanto para un análisis de la información de tipo corriente, no se requiere realizar esta prueba.

La razón (F) se expresa entre dos varianzas poblacionales estimadas independientemente, como sigue:

$$F = \frac{(S_1)^2}{(S_2)^2}$$

Donde el subíndice indica el número de la muestra y cada $(S)^2$ representa la estimación de la varianza poblacional basada en la muestra. Cuando las dos varianzas poblacionales estimadas son iguales, la razón (F) debe ser la unidad.

Si (F) no es igual, la diferencia puede ser atribuida al azar (no es significativa), o puede no ser atribuida al azar (es significativa, ya sea demasiado grande o demasiado pequeña). Para tomar tales decisiones, debemos confiar en la distribución del estadístico (F).

De acuerdo con lo anterior, la hipótesis para realizar esta prueba, es que las medidas poblacionales normalmente distribuidas de los estratos socioeconómicos, sean iguales.

Cuando combinamos las poblaciones de cada estrato en una única población grande, se espera que la media y la varianza de la población grande (μ , σ^2) sean iguales a las de las poblaciones originales de los estratos.

Debe entenderse como población “grande”, a la compuesta por las poblaciones de los estratos socioeconómicos muestreados.

$$\begin{aligned} \mu &= \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \\ \sigma^2 &= \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 \end{aligned}$$

La población No. 1 es el universo del trabajo compuesto por el estrato socioeconómico bajo; mientras que la población No. 2, corresponderá al universo de trabajo definido por el estrato socioeconómico medio, y así sucesivamente con los demás estratos.

El procedimiento seguido para realizar esta prueba, se describe a continuación:

- Cálculo de las varianzas entre clases (o entre muestras).

$$(S_1)^2 = \frac{\sum_{i=1}^m n_i (X_i - \bar{X})^2}{m-1}$$

Donde:

- m : No. de muestras.
- i : No. de la muestra.
- n_i : Tamaño de la muestra extraída de la población "i".
- X_i : Media de los elementos de la muestra "i".
- X : Media de todos los elementos de la muestra grande.
- X : Desviación entre la media de la muestra "i" y la media de la muestra grande.
- X)²: Cuadrado de la desviación (variación).

- Cálculo de la Varianza Intra Clases (o dentro de las muestras individuales)

$$(S_2)^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^{n_i} (X_j - X_i)^2)}{r - m}$$

Donde:

- i : No. de la muestra.
- j : No. del elemento.
- x_j: Elementos de la muestra "i"
- r : No. de elementos de la muestra grande (r = Σ(n_i), i=1, m).

NOTA: Los elementos (X) de las muestras, son los promedios por casa-habitación en kg/hab-día de los 7 valores diarios obtenidos durante el periodo de muestreo.

Para realizar esta prueba, se podrá emplear la tabla No. 4 que se anexa a esta Norma, la cual corresponde a la distribución "F" de Fisher.

Sólo en el caso que la diferencia se debe al azar, se trabaja con una generación per-cápita promedio, para los estratos socioeconómicos analizados.

NOTA: Las actividades marcadas con un asterisco (*), se deben realizar en campo.

4. GENERACIÓN PER-CÁPITA DE RESIDUOS SÓLIDOS NO DOMÉSTICOS.

4.1 PROCEDIMIENTO

4.1.1 Esta generación se puede obtener siguiendo el mismo procedimiento descrito en el inciso 3.1, siempre y cuando se pueda determinar confiablemente el tamaño de la premuestra con base en la siguiente expresión:

$$n = \left(\frac{\sigma Z}{E} \right)^2$$

Donde:

- n : Tamaño de la premuestra (No. de fuentes por muestrear).
- E : Error muestral, en kg/fuente-día.
- s : Desviación estándar poblacional en kg/fuente-día.
- Z : Percentil de la distribución normal, correspondiente al nivel de confianza definido por el riesgo empleado en el muestreo.

Para aplicar la expresión anterior, se deben definir primero los giros municipales excepto el doméstico, que se pretendan muestrear en la localidad.

Se deberá entender como "fuente" a cualquier establecimiento generador de residuos sólidos, incluido dentro de los giros municipales por muestrear.

4.1.2 En caso dado de no poder determinar la generación per-cápita de estos residuos conforme a lo descrito en el punto 4.1.1; se obtendrá a partir de un balance de materia, del proceso del giro que se trate. Para tal situación se debe conocer lo siguiente:

- a) Las fronteras del sistema.
- b) Identificar todas las actividades que cruzan u ocurren dentro de sus fronteras.
- c) Identificar la tasa de generación de residuos sólidos asociados con estas actividades.
- d) Determinar la cantidad de residuos sólidos por medio del balance de materiales.

Este tipo de residuos se relacionan con el número de clientes, monto de ventas, área de establecimiento o giro municipal.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Boscó Romero, R.J., "Estudio para la Predicción de Generación de Desechos Sólidos", México, D.F., 1980. Tesis para obtener el Título de Ingeniería Civil - ESIA.
- Dirección General de Ecología Urbana, Subsecretaría de Asentamientos Humanos, SAHOP, "Normas de Proyecto para Sistemas de Manejo y Disposición Final de los Desechos Sólidos", México, D.F., 1978.
- Experiencias en Campo de Personal de la SEDUE.

- Wayne, W.D., "Bioestadística, Base para el Análisis de las Ciencias de la Salud", Ed. Limusa, México,D.F.,1982.

CÉDULA DE ENCUESTA DE CAMPO PARA EL MUESTREO DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS.

No. de muestra: _____ No. aleatorio: _____
 Población: _____ Municipio: _____ Estado: _____
 Calle: _____ Núm.: _____ C.P. _____
 Colonia: _____ Nivel socioeconómico: _____
 Habitantes/casa: _____ Frec. de rec.: _____ Tipo recipiente _____
 ¿Qué hace con los residuos sólidos si no pasa el camión?
 Su opinión sobre el servicio de recolección: () Buena () Mala () Regular
 Nombre del encuestador: _____
 Puesto que desempeña: _____
 Institución o Empresa: _____

FECHA	DÍA	PESO DE LOS RESIDUOS (kg)	GENERACIÓN PER-CÁPITA (kg/hab-día)	OBSERVACIONES
	LUNES			
	MARTES			
	MIÉRCOLES			
	JUEVES			
	VIERNES			
	SÁBADO			
	DOMINGO			

Tabla No. 1:
NÚMEROS ALEATORIOS

31512	1097	67820	17186	62707	89307	78756	54020	38163	14741
77364	2376	21124	77775	88766	74113	89706	21123	19672	25278
41347	15489	21639	35643	87080	62872	37485	88428	24683	71766
60264	3416	17662	66160	9141	70918	69568	15652	17643	21150
14703	18223	72779	62979	20136	51809	13782	16955	83833	70306
17931	92085	85582	79375	77742	57826	10861	35828	38004	56140
88833	89013	12497	6068	59446	69478	81891	64298	58975	89591
15182	79387	68575	49514	34258	64250	90348	68026	18013	54043
22037	47828	6405	93972	85266	8701	35070	49176	63360	10381
32415	35387	36627	39911	6395	11387	21724	70940	73125	26038
51280	81801	85931	10373	6018	39009	13058	19345	68019	69949
77531	96595	18158	75847	14070	15456	21433	25797	67813	90516
46800	58186	87742	26158	33892	19194	18962	50129	17932	14191
36418	2185	60503	94636	21536	56974	19339	12952	12578	37569
10161	29012	4107	48337	35340	70371	71515	66106	33670	51920
74188	51304	51844	16081	26612	57938	43297	32999	8233	67505
31191	74442	32382	14921	48663	26498	72720	52123	85705	17119
56511	1194	-11265	18158	87118	40645	33520	90493	41579	10031
11211	33576	20168	93727	26601	90099	16603	10464	93972	19402
38740	76056	38450	96296	54551	11982	19941	97179	56500	43376
83560	92288	52270	3583	9509	71135	42954	94280	64820	74780
52357	32793	20832	97297	57828	21503	54033	71238	71840	69440
79580	21551	46982	96297	78747	21869	94082	80093	47332	51430
70638	70404	31910	7820	27930	27588	10976	60376	81457	21977
42841	10712	24095	83539	40359	25465	62807	42216	78357	31516
82173	71703	93733	90181	6911	92202	31419	94437	37036	90257
45169	1261	15947	88773	13161	2576	56048	65937	32657	32988
77973	23993	42959	32900	65433	32716	54821	1675	17160	21616
35171	51896	2846	79071	25203	33646	10279	4739	94149	84982
34370	23812	40933	75771	69322	50104	51361	74582	27376	82637
44067	29743	22985	57289	51863	15719	52194	68022	68564	2306
44354	90051	28135	76517	25881	33302	15383	26750	09995	51303
57566	52877	90288	31853	77166	70552	51078	31328	26329	96019
96371	96863	50009	71169	36847	2529	65381	13429	97218	11456
81924	8563	83291	15073	85849	32865	81287	36268	54940	23706
59049	19681	9963	27183	73311	95444	80733	41097	55648	54686
31308	50159	48775	68917	95562	59912	74327	66500	58051	24621
19965	2180	76868	29452	1308	43075	13171	63612	65564	53930
52827	16113	80745	95366	86201	30062	47956	21512	62728	41675
28602	18225	41444	11771	47935	91940	92751	4541	41453	15826
39536	54429	33993	80530	27308	76701	13873	55685	31131	12324
72719	68889	77947	32284	79999	8848	63562	83414	82561	6681
74518	68388	75773	29609	1151	73485	82688	47201	56288	39353
73833	54550	25427	72524	67729	36345	78721	55888	88105	56322
14895	61586	28722	62512	31476	10918	21665	79181	69175	32982
44219	67126	60539	41694	41574	1182	6233	69129	95375	32748
67548	28811	26417	80274	11985	67811	32027	59945	69626	77465
5336	87225	7875	66867	37870	35786	3296	39722	90857	87214
32216	35515	70976	44223	2107	18989	85623	22470	4190	5476
1857	36938	80875	17384	57790	81712	23049	62993	25998	15264

Tabla No. 2
CRITERIO PARA RECHAZO DE OBSERVACIONES DISTANTES.

ESTADÍSTICO	No. DE OBSERVACIONES	PERCENTILES MÁXIMOS					
			0.8	0.9	0.95	0.98	0.99
r = 1	3	0.584	0.781	0.885	0.941	0.973	0.988
	4	0.471	0.550	0.579	0.765	0.845	0.989
	5	0.373	0.451	0.557	0.642	0.723	0.980
	6	0.315	0.335	0.432	0.590	0.644	0.696
	7	0.251	0.344	0.434	0.507	0.535	0.437
r = 11	8	0.318	0.385	0.473	0.554	0.831	0.683
	9	0.288	0.352	0.441	0.512	0.567	0.535
	10	0.265	0.325	0.403	0.477	0.551	0.527
r = 21	11	0.391	0.442	0.517	0.576	0.639	0.679
	12	0.370	0.419	0.490	0.545	0.605	0.542
	13	0.351	0.399	0.437	0.521	0.573	0.515
r = 22	14	0.370	0.421	0.492	0.546	0.602	0.641
	15	0.353	0.402	0.472	0.525	0.579	0.616
	16	0.333	0.386	0.454	0.507	0.553	0.595
	17	0.325	0.373	0.433	0.490	0.542	0.577
	18	0.314	0.351	0.424	0.475	0.527	0.561
	19	0.304	0.350	0.412	0.462	0.514	0.547
	20	0.295	0.340	0.401	0.450	0.502	0.535
	21	0.287	0.331	0.391	0.440	0.491	0.524
	22	0.280	0.323	0.382	0.430	0.481	0.514
	23	0.274	0.316	0.374	0.421	0.472	0.532
	24	0.268	0.310	0.367	0.413	0.454	0.524
	25	0.262	0.304	0.360	0.406	0.457	0.516

Tabla No. 3
PERCENTILES DE LA DISTRIBUCIÓN " t "

GRADOS DE LIBERTAD	t. 60	t. 70	t. 80	t. 90	t. 95	t. 975	t. 99	t. 995
1	0.325	0.727	1.376	3.078	6.314	12.786	31.821	63.557
2	0.289	0.617	1.061	1.886	2.920	4.303	6.965	9.425
3	0.277	0.584	0.978	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.271	0.569	0.941	1.533	2.132	2.776	3.747	4.084
5	0.267	0.559	0.920	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.265	0.553	0.906	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.263	0.549	0.896	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.262	0.546	0.889	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.261	0.543	0.883	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.260	0.542	0.879	1.372	1.812	2.228	2.764	3.159
11	0.260	0.540	0.876	1.363	1.796	2.201	2.718	3.100
12	0.259	0.539	0.873	1.356	1.782	2.179	2.681	3.085
13	0.259	0.538	0.870	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.258	0.537	0.868	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.258	0.536	0.866	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.258	0.535	0.865	1.337	1.746	2.120	2.593	2.921
17	0.257	0.534	0.863	1.333	1.740	2.110	2.587	2.879
18	0.257	0.534	0.862	1.330	1.734	2.101	2.552	2.873
19	0.257	0.534	0.861	0.328	1.729	2.093	2.539	2.851
20	0.257	0.533	0.860	0.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.257	0.532	0.859	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.256	0.532	0.858	1.321	1.717	2.074	2.508	2.813
23	0.256	0.532	0.858	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.256	0.531	0.857	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.256	0.531	0.856	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.256	0.531	0.856	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.256	0.531	0.855	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.256	0.530	0.855	1.313	1.701	2.048	2.467	2.760
29	0.256	0.530	0.854	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.256	0.530	0.854	1.310	1.697	2.042	2.457	2.753
40	0.255	0.529	0.851	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.254	0.527	0.848	1.296	1.671	2.000	2.390	2.650
120	0.254	0.526	0.845	1.289	1.658	1.980	2.358	2.614
∞	0.253	0.524	0.842	1.202	1.645	1.960	2.326	2.576

**10.3 Proyectos de Norma Oficial
Mexicana sobre Rellenos Sanitarios.**

PROYECTO de Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1994, Que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Desarrollo Social.- Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección al Ambiente.

GABRIEL QUADRI DE LA TORRE, Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, con fundamento en los artículos 45, 46 fracción II y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, me permito ordenar la publicación en el **Diario Oficial de la Federación** del proyecto de norma oficial mexicana, NOM-083-ECOL-1994, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales.

El presente proyecto de norma oficial mexicana se publica a efecto de que los interesados dentro de los siguientes 90 días naturales, contados a partir de la fecha de su publicación, presenten sus comentarios ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en Río Elba número 20, 1er. Piso, Colonia Cuauhtémoc, Código Postal 06500, México, D.F.

Durante el plazo mencionado, los análisis que sirvieron de base para la elaboración del proyecto de norma, estarán a disposición del público para su consulta en el domicilio del Comité.

México, Distrito Federal, a veintinueve de marzo de mil novecientos noventa y cuatro.- El Presidente del Comité, **Gabriel Quadri de la Torre**.- Rúbrica.

PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-083-ECOL-1994, QUE ESTABLECE LAS CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A RELLENO SANITARIO PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES.

1. OBJETO

Esta norma oficial mexicana establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a relleno sanitario, para la disposición final de los residuos sólidos municipales.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma oficial mexicana es de observancia obligatoria para aquellos que tienen la responsabilidad de la disposición final de los residuos sólidos municipales.

3. DEFINICIONES

3.1 Banco de préstamo

El sitio del que se extraen materiales para diversas aplicaciones.

3.2 Capacidad de intercambio catiónico del suelo

La suma total de cationes intercambiables que puede adsorber un suelo, expresado en miliequivalentes por unidad de peso del mismo.

3.3 Cuerpos de agua

Los lagos, lagunas, acuíferos, ríos y sus afluentes, directos e indirectos, permanentes o intermitentes, presas o embalses, cenotes, manantiales, lagunas litorales, estuarios, esteros, marismas, y en general las zonas marinas mexicanas y otras corrientes de agua.

3.4 Descripción estratigráfica

La descripción de los estratos del subsuelo, en cuanto a sus propiedades físicas, químicas e hidráulicas, de acuerdo al código de nomenclatura estratigráfica vigente.

3.5 Falla geológica

El área que presenta desplazamientos por una fisura longitudinal o transversal de origen sísmico o tectónico las cuales producen porosidad y permeabilidad de tipo secundario, dependiendo de su origen.

3.6 Geología

El estudio de la formación, evolución, distribución, correlación y comparación de los materiales terrestres.

3.7 Hidrogeología

Es el concepto de actividades tales como perforaciones, determinación de la recarga, profundidades a nivel estático, interacción química agua-roca y propiedades hidráulicas que permiten conocer y localizar los sistemas de aguas subterráneas, su dirección y velocidad de movimiento.

3.8 Hidrología superficial

El estudio del comportamiento de las aguas superficiales de una cuenca hidrográfica.

3.9 Nivel freático

La superficie de agua que se encuentra en el subsuelo bajo el efecto de la fuerza de gravitación y que delimita la zona de aireación de la de saturación.

3.10 Topografía

Las características del relieve que presenta el terreno natural.

3.11 Permeabilidad

La propiedad de un medio geológico de permitir el flujo de agua subterránea en un acuífero o acuitardo, considera las condiciones de densidad y viscosidad del agua.

3.12 Relleno sanitario

La obra de ingeniería que reúna características específicas para la disposición final y segura de residuos sólidos municipales.

3.13 Residuo sólido municipal

El residuo sólido que proviene de actividades que se desarrollan en casas-habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, así como residuos industriales que no se deriven de su proceso.

3.14 Zona de aireación

La zona que contiene agua bajo presión menor a la atmósfera, está delimitada por la superficie del terreno y el nivel freático.

3.15 Zona fracturada

El área que presenta aperturas longitudinales en las rocas o en el suelo conocidas como fracturas sin desplazamiento (diaclasas), las cuales producen porosidad y permeabilidad de tipo secundario, dependiendo de su origen; se clasifican en fracturas de contracción, retención, enfriamiento, erupción, sísmicas o tectónicas.

3.16 Zona de saturación

El área que se caracteriza por tener sus poros o fracturas llenas de agua, su límite superior corresponde al nivel freático y su límite inferior es una unidad impermeable.

4. ESPECIFICACIONES

El sitio destinado a relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales deberá reunir las condiciones siguientes:

4.1 Profundidad del manto freático

Deberá estar ubicado a una profundidad vertical mayor de 10 m del nivel freático.

4.1.1 Zona de recarga

La distancia mínima del sitio para la disposición final de residuos sólidos municipales a pozos para agua potable tanto en operación como abandonados, deberá de ser 360 m (trescientos sesenta metros).

4.1.2 Ubicación con respecto a la zona de fracturación

Deberá ubicarse a una distancia horizontal de 100 m como mínimo del límite de la zona de fracturación o falla geológica.

4.1.3 Características de los estratos del suelo

Las características físicas de los estratos del suelo se deberán conocer a través del estudio geofísico correspondiente, aplicándolo hasta una profundidad de 120 m.

4.1.4 Características del suelo

Deberá reunir condiciones tanto de impermeabilidad como de remoción de contaminantes, representadas éstas por el coeficiente de permeabilidad de 1×10^{-5} cm/seg y por la capacidad de intercambio catiónico de 30 meq/100 grs de suelo.

4.2 Material para cobertura

Se deberá contar como mínimo con un 25% de material de cubierta en relación al volumen de los residuos municipales a disponer diariamente.

4.3 Vida útil del sitio

Vida útil mínima de 7 años.

4.4 Ubicación con respecto a cuerpos de agua

Deberá ubicarse a una distancia mayor de 1 km de las zonas de inundación, cuerpos de agua y corrientes naturales.

4.5 Ubicación con respecto a centros de población y vías de acceso

Estará ubicado a una distancia mayor de 500 m del área urbana; a una distancia mayor de 70 m de las vías de comunicación terrestre, a una distancia mayor de 3 km de áreas naturales protegidas y aeropuertos, así como respetar el derecho de vía de 20 m de cada lado de líneas de conducción de energía eléctrica, oleoductos, poliductos, gasoductos y a una distancia mayor de 150 m de áreas de almacenamiento de hidrocarburos.

4.6 Drenaje

El sitio referido en el punto 1 de esta norma oficial mexicana deberá permitir la salida de aguas de lluvia naturalmente.

4.7 Topografía

El sitio destinado a relleno sanitario deberá tener:

4.7.1 La pendiente media en la base del terreno natural del sitio no mayor del 30%.

4.8 Limitación

No se podrá operar un sitio destinado a relleno sanitario en zona fracturada.

5. PROCEDIMIENTO

Para determinar las condiciones previstas en esta norma oficial mexicana se deberá realizar los siguientes estudios:

5.1 Estudio geofísico

Para determinar la estructura, zonas y capas acuíferas, así como la diferencia entre materiales permeables e impermeables y fijar espesores y posición de unos y otros, efectuando sondeos

eléctricos verticales a una profundidad de 120 m, su número estará en relación a las hectáreas con que cuenta el sitio.

hectáreas	No. de sondeos eléctricos
1-4	3
4-9	5
9-15	7
15-21	10
21-50	12
más de 50	20

5.2 Estudio geohidrológico

Para conocer la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea, así como la dirección, velocidad del escurrimiento, o flujo de la misma y su composición química.

6. ACLARACIONES

Cuando el terreno donde se instalará el relleno sanitario no cumpla con las condiciones y características señaladas en los puntos 4.1 y 4.1.4, la autoridad competente podrá autorizar la realización de medidas y obras cuyos efectos resulten equivalentes a los que se obtendría en el cumplimiento de los requisitos previstos en la presente norma oficial mexicana, cuando se le acredite técnicamente su efectividad.

7. VIGILANCIA

Los gobiernos del Distrito Federal, de los Estados y municipios en el ámbito de su jurisdicción y competencia, vigilarán el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana.

8. SANCIONES

El incumplimiento de la presente norma oficial mexicana, será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en cada entidad federativa y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

9. BIBLIOGRAFÍA

- 9.1 Manual de Relleno Sanitario SEDUE, Subsecretaría de Ecología, 1984.
- 9.2 Manual de Hidráulica Azevedo Alvarez (Editorial Harla)
- 9.3 Mecánica de Suelos E. Juárez Badillo y A. Rico Rodríguez (1970)
- 9.4 Sanitary Landfill Design and Operation Dr. Brunner & D.J. Keller, U.S.E.P.A. 1971
- 9.5 Buranek, D. (1987) Construction Guide Liners, Civil Engineering, Nov. 1987
- 9.6 EPA Liners Workshop For Region VI and State Permit Writers, Dallas, Texas Environmental Protection Agency (1985)

9.7 Standar Number 54 Flexible Membrane Liners, Ann Arbor, Michigan, National Sanitation Fundation (1985)

9.8 Poly- America Inc. Reference Manual. An Engineering Approach to Groundwater Protection, Gran Praire, Texas.

9.9 Plyfelt Ts. Chemié Linz (Manual de diseño y práctica).

9.10 Hazardous Waste Engineering Research Laboratory. U.S. Environmental Protection Agency.

9.11 Geosynthetic Design Guidance for Hazardous Waste. Landfill Cells and Surface Impoundments, Cincinatti, Ohio. Soil 6 Materia Engineers, Inc.

9.12 Dura-flex. An Innovation for the Environmental Containment Industry. Grand Praire, Texas. Yazdani G. and Nobert J.

9.13 Manual de Manejo de Desechos Sólidos Caterpillar.

9.14 Guía de Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios. Manuales de Organización Panamericana de la Salud. Jorge Jaramillo y Francisco Zepeda (1991).

9.15 Practical Waste Management. John R. Holmes (1983) Editorial John Wiley & Sons.

9.16 Estudio de Comportamiento de un Relleno Sanitario mediante una celda de control D.D.F. (1992).

10. VIGENCIA

La presente norma oficial mexicana entrará en vigor a los ciento veinte días naturales después de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

PROYECTO de Norma Oficial Mexicana NOM-084-ECOL-1994, Que establece los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Desarrollo Social.- Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección al Ambiente.

GABRIEL QUADRI DE LA TORRE, Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, con fundamento en los artículos 45, 46 fracción II y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, me permito ordenar la publicación en el **Diario Oficial de la Federación** del proyecto de norma oficial mexicana, NOM-084-ECOL-1994, que establece los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias.

El presente proyecto de norma oficial mexicana se publica a efecto de que los interesados dentro de los siguientes 90 días naturales, contados a partir de la fecha de su publicación, presenten sus comentarios ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en Río Elba número 20, 1er. Piso, Colonia Cuauhtémoc, Código Postal 06500, México, D.F.

Durante el plazo mencionado, los análisis que sirvieron de base para la elaboración del proyecto de norma, estarán a disposición del público para su consulta en el domicilio del Comité.

México, Distrito Federal, a veintinueve de marzo de mil novecientos noventa y cuatro.- El Presidente del Comité, **Gabriel Quadri de la Torre**.- Rúbrica.

PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-084-ECOL-1994, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO Y LA CONSTRUCCIÓN DE SUS OBRAS COMPLEMENTARIAS.

1. OBJETO

La presente norma oficial mexicana tiene como objeto establecer los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma oficial mexicana es de observancia obligatoria para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias.

3. DEFINICIONES

3.1 Residuo sólido municipal

El residuo sólido que proviene de actividades que se desarrollan en casa-habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, así como los residuos industriales que no se deriven de su proceso.

3.2 Generación

La cantidad de residuos sólidos originados por el componente unitario de una determinada fuente en un intervalo de tiempo.

3.3 Peso volumétrico

El peso de los residuos sólidos contenidos en una unidad de volumen.

3.4 Disposición

La descarga, depósito, inyección, vertido, derrame o colocación de cualquier tipo de residuo en o sobre el suelo o cualquier cuerpo de agua.

3.5 Relleno sanitario

La obra de ingeniería para la disposición final y segura de los residuos sólidos municipales.

3.6 Celda

El bloque unitario de construcción de un relleno sanitario.

3.7 Celda diaria

Las áreas definidas donde se esparcen y compactan los residuos sólidos durante un día, siendo cubiertos al final del mismo, con una capa de algún material que en caso de ser suelo, también se compacta.

3.8 Material de cubierta

El material de origen natural o sintético, utilizado para cubrir los residuos sólidos con el propósito de controlar el ingreso de diversos organismos, así como controlar la humedad de los estratos de residuos, el movimiento de gas producido por la degradación de la materia orgánica, el inicio y propagación de incendios, la dispersión de residuos y también proporcionar al sitio una apariencia adecuada.

3.9 Cubierta diaria

La capa de material natural o sintético con que se cubre a los residuos depositados durante un día de operación.

3.10 Cubierta intermedia

El estrato de material natural o sintético con que se cubre una franja o capa de residuos en un relleno sanitario.

3.11 Cubierta final

El revestimiento de material natural o sintético que confina el total de las capas de que consta un relleno sanitario.

3.12 Lixiviado

La solución resultante de la disolución y suspensión de algunos constituyentes de los residuos en el agua que los atraviesa.

3.13 Biogas

La mezcla de gases, producto de la descomposición biológica de la fracción orgánica de los residuos sólidos.

3.14 Sistema pasivo de extracción

El sistema utilizado para controlar el movimiento del biogas a presión natural y mediante el mecanismo de convección.

3.15 Sistema activo de extracción

El control del movimiento del biogas mediante una presión negativa inducida (vacío).

3.16 Zona de impacto sísmico

El área que tiene una probabilidad mayor o igual al 10% de que la aceleración horizontal en roca dura excede el 10% de la aceleración de la gravedad (g) en 250 años.

4. DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO

4.1 El diseño de un relleno sanitario, para la disposición final de los residuos sólidos municipales, deberá sujetarse al siguiente procedimiento:

4.1.1 Topografía

Información referente a la forma superficial y del perímetro (límites) del sitio, que deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

4.1.1.1 Planimetría

1. Tolerancia angular = $1' N^{1/2}$

2. Tolerancia lineal = $1/3000$

Donde:

N = Número de vértices de la poligonal.

3. Ubicación de los límites del predio, cursos o cuerpos de agua superficial, áreas de inundación, caminos en servicio, líneas de conducción existentes en el sitio (luz, agua, drenaje, gas, teléfono, etc.), así como todo tipo de estructuras y construcciones existentes dentro del predio.

4.1.1.2 Altimetría

Una vez establecido un banco de nivel fijo y de fácil localización, se deberá efectuar una nivelación a lo largo de las poligonales abierta y cerrada con puntos de nivelación a cada 20 m como máximo y especificar la altura de los sistemas de conducción, que atraviesan el sitio, incluyendo sus sistemas de sujeción.

4.1.1.3 Secciones

Se deberán ubicar secciones a partir de la estación 0+000 del camino de acceso, debiendo referenciarse a las estaciones establecidas sobre el perfil del camino, serán siempre perpendiculares

al eje del camino de acceso y abarcarán 20 m, a cada lado de dicho eje. Para la poligonal cerrada, se establecerá un eje central que divida al predio en dos áreas aproximadamente iguales, debiendo definirse ejes paralelos a cada 50 m, mismos que deben seccionarse transversalmente a cada 25 m aproximadamente para superficies de 8 hectáreas o menos y a cada 50 m en terrenos mayores a 8 hectáreas.

4.1.1.4 Configuración topográfica

Las curvas de nivel se trazarán de acuerdo a los siguientes requerimientos: A cada medio metro para sitios planos y ligeramente ondulados y cada metro para ondulados, hondonadas profundas y valles escarpados.

4.1.2 Cantidades y características de los residuos sólidos

Se deberá recabar información referente a las cantidades y características de los residuos sólidos, tanto actuales como proyectadas para un periodo mínimo igual a diez años o bien igual al periodo de vida útil del sitio. En caso de que estos datos no se encuentren disponibles, se deberán realizar los muestreos correspondientes conforme a lo establecido en las siguientes normas mexicanas:

NMX-AA-61-1985	Determinación de la generación
NMX-AA-15-1985	Muestreo-Método de cuarteo
NMX-AA-22-1985	Selección y cuantificación de subproductos
NMX-AA-19-1985	Determinación del peso volumétrico "in situ"

5. SELECCIÓN DEL MÉTODO

La selección del método a utilizar para la operación del relleno sanitario, se deberá realizar con base a las condiciones topográficas, geomorfológicas y hidrogeológicas del terreno elegido, seleccionando de entre los siguientes: trinchera, área y combinado.

6. REQUERIMIENTOS VOLUMÉTRICOS

Los requerimientos volumétricos para el diseño del Relleno Sanitario, deberán obtenerse para los años estimados, mediante los volúmenes totales anuales y acumulados tanto de los residuos sólidos municipales como del material de cubierta, empleando para ello la proyección de generación de residuos y los pesos volumétricos establecidos en la tabla 1.

Tabla 1
RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

Tamaño del asentamiento humano	Para diseño de la celda diaria peso volumétrico ton/m ³	Para el cálculo de vida útil peso volumétrico ton/m ³
Hasta 500,000 hab	0.500	0.750
> de 500,000 hab	0.600	0.900

7. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMÉTRICA

El cálculo de la capacidad volumétrica del sitio, deberá realizarse considerando la configuración topográfica que presente el predio donde se alojará el relleno sanitario, así como sus niveles de desplante. Se deberá reportar por cada curva de nivel la capacidad volumétrica parcial y acumulada.

8. CÁLCULO DE LA VIDA DEL SITIO

El cálculo de la vida útil del sitio deberá obtenerse por medio de la capacidad volumétrica total del sitio, la cantidad de residuos a disponer y el volumen de material de cubierta requerido, conforme a la siguiente ecuación:

$$U = V / (365 G)$$

Donde:

U = Vida útil del relleno sanitario, expresado en años.

V = Volumen del sitio seleccionado, expresado en m³.

G = Volumen ocupado por la cantidad total diaria de residuos sólidos a disponer más la cantidad de material de cubierta demandado para cubrir esos residuos, expresado en m³/día.

9. DIMENSIONES DE LA CELDA DIARIA

9.1 Altura de la celda

La altura máxima deberá ser de 3.00 m, incluyendo el espesor de los residuos a disponer y el material de cubierta requerido.

9.2 Ancho de la celda

El ancho de la celda (frente de trabajo) deberá estar determinado por la longitud necesaria para el funcionamiento adecuado y ejecución de maniobras del equipo, tanto de compactación como de transporte.

9.2.1 Para poblaciones de hasta 250,000 hab el frente de trabajo se define conforme a la ecuación siguiente:

$$F = 0.0333 N T X$$

Donde:

F = Longitud del frente de trabajo, expresado en metros.

N = Número de vehículos recolectores en la hora pico.

T = Tiempo promedio de la descarga de cada vehículo recolector, expresado en minutos.

X = Ancho de los vehículos recolectores, expresado en metros.

9.2.2 Para poblaciones mayores de 250,000 hab, el ancho mínimo del frente de trabajo debe calcularse conforme a la ecuación siguiente:

$$L = \frac{V}{B \cdot A}$$

Donde:

L = Longitud del frente de trabajo, expresado en metros.

Ni = Ancho de la hoja topadora de cada una de las máquinas que se utilizarán simultáneamente, expresado en metros.

i = Número de equipos.

9.2.3 El largo de la celda se debería calcular en función de la altura y el ancho previamente determinados, conforme a la ecuación siguiente:

$$L = \frac{V}{B \cdot A}$$

Donde:

L = Largo de la celda, expresado en metros.

V = Volumen de la celda, expresado en m³.

W = Ancho de la celda, expresado en metros.

A = Altura de la celda, expresado en metros.

9.2.4 Con base al método de área las celdas se construirán inicialmente en un extremo del sitio y se avanza hasta terminar con el otro extremo, cuando existan ondulaciones y depresiones en el terreno deberán ser utilizadas como respaldo conforme a las primeras celdas de una determinada capa constructiva.

Criterio constructivo:

I. Se prepara el terreno para trabajarlo a base de terrazas y al mismo tiempo extraer material para cubierta.

II. El frente de trabajo o ancho de la celda se calculará de acuerdo a lo establecido en los puntos 9.2.1 y 9.2.2.

III. Los cortes al terreno se harán, siguiendo la topografía del sitio para formar terrazas y aprovechar al máximo el terreno.

IV. El talud de la celda diaria tendrá una relación 1:3, ángulo de 18°.

V. Cada celda del relleno será contigua con la del día anterior y así sucesivamente hasta formar una hilera de celdas que se denominarán franjas. Estas celdas se construirán de acuerdo con la topografía del sitio.

VI. Las franjas al irse juntando forman capas, estas se construirán considerando la altura del sitio disponible para el relleno y al ubicarse en el plano de construcción, se calendarizan y se numeran de abajo hacia arriba usando 3 subíndices, uno indicando capa, el segundo indicará la franja y una tercera para la celda diaria.

VII. Las cubiertas intermedias que sirven de separación de las celdas diarias serán de 30 cm. El espesor de la cubierta debe ser de 60 cm.

VIII. La compactación de los residuos dependerá de su composición, del grado de humedad y del equipo utilizado. Para obtener entre un 50 a 70 por ciento de reducción de su volumen.

IX. Las cubiertas tendrán una pendiente del 2% para el drenado adecuado que impidan el paso del agua, para evitar la erosión se deberán revegetar con especies propias de la región.

9.2.5 Con base al método de trinchera las celdas se construirán sobre la base del talud de la trinchera donde los residuos son compactados en capas inclinadas, posteriormente será cubierta con el material excavado de la futura trinchera.

Criterio constructivo:

I. La profundidad mínima de la trinchera será de 2.00 m de los cuales 1.50 m será de residuos y el resto de material de cubierta.

II. La trinchera deberá contar con una pendiente del 2% que permita el drenado de la excavación a lo largo de toda su longitud.

III. El ancho de la trinchera será como mínimo de 9.00 m para facilitar la descarga de los y la operación de la excavación de la máquina.

IV. El procedimiento constructivo, será el mismo a partir del punto IV de los criterios de construcción de las celdas por el método de área.

10. OBRAS COMPLEMENTARIAS

El relleno sanitario deberá comprender además del diseño de las celdas de confinamiento, con las obras complementarias que correspondan de acuerdo a la densidad de población expresada en la tabla 2.

11. ÁREAS DE ACCESO Y ESPERA

11.1 Las áreas de acceso y espera tienen como propósito el control de entradas y salidas del personal y de los vehículos de recolección.

11.2 El acceso al relleno sanitario debe tener un ancho de 8.00 m como mínimo.

11.3 Antes del acceso al frente de trabajo se deberá tener una área de espera con la capacidad suficiente para el estacionamiento de los vehículos recolectores y de transferencia en la hora pico.

12. CERCA PERIMETRAL

El Relleno Sanitario deberá estar cercado, como mínimo con alambre de púas de cinco hilos de 1.50 m de alto, a partir del nivel del suelo con postes de concreto o tubos galvanizados, debidamente empotrados y colocados a cada 3 m

entre sí, para poblaciones de hasta 500,000 hab. y como mínimo con maya ciclónica de 2.20 m de alto para poblaciones mayores.

13. CASETA DE VIGILANCIA

Las dimensiones de la caseta de vigilancia tendrá como mínimo 4 m² y deberá instalarse a la entrada del relleno sanitario, pudiendo ser construida con materiales propios de cada región.

14. CASETA DE PESAJE Y BÁSCULA

14.1 Las dimensiones de la caseta de pesaje tendrá como mínimo 16 m² para alojar el dispositivo indicador de la báscula y el mobiliario necesario para el registro y archivo de datos.

14.2 La báscula deberá ubicarse cerca de la entrada del relleno sanitario y contar con:

14.2.1 Superficie de dimensiones suficientes para dar servicio a la unidad recolectora o de transferencia de mayor volumen de carga.

14.2.2 Capacidad acorde a la unidad recolectora de mayor volumen de carga.

14.2.3 La báscula deberá ser de una precisión de 5 kg y su instalación deberá apogarse a las especificaciones del fabricante.

15. CAMINOS

15.1 Los caminos serán de dos tipos: exteriores e interiores.

15.2 Los caminos exteriores debe cumplir como mínimo las especificaciones siguientes:

15.2.1 Ser de trazo permanente, y

15.2.2 Garantizar el tránsito por ellos en cualquier época del año, a todo tipo de vehículos que acudan al relleno sanitario.

15.3 Cuando por volumen de tránsito y de la capacidad de carga de los vehículos, se haga necesario la colocación de la carpeta asfáltica, esta superficie de rodamiento deberá estar sobre el nivel de despalme, misma que definirá la subrasante, en este caso, para recibir la carpeta se deberá construir:

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

15.3.2 Una base con espesor de 12 cm de grava controlada y arena compactada al 90% de la prueba proctor.

15.3.3 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.

15.4 Los caminos internos deben cumplir las especificaciones siguientes:

15.4.1 Deberán permitir la doble circulación de los vehículos recolectores, hasta el frente de trabajo del relleno sanitario.

15.4.2 Deberán ser de tipo temporal y que no presenten pendientes mayor del 5%.

16. CRITERIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS CAMINOS

Los caminos interiores y exteriores deberán ser diseñados y construidos conforme a los criterios básicos establecidos en la tabla 3.

17. ÁREA DE EMERGENCIA

17.1 El área de emergencia será destinada para la recepción de los residuos municipales, cuando por situaciones climatológicas no permita la operación en el frente de trabajo, para facilitar la operación del relleno, además se deberá contar con lonas plásticas, residuos provenientes de demolición, o del barrido de calles para cubrir los residuos.

17.2 El área de emergencia deberá:

17.2.1 Estar ubicada en el área que presente las mejores condiciones para su operación.

17.2.2 Que su capacidad sea suficiente para una operación ininterrumpida de 6 meses.

17.2.3 Que exista material adecuado y en condiciones suficientes para cubrir diariamente los residuos.

18. DRENAJE

18.1 Las obras de drenaje serán de tipo permanente y temporal.

18.1.1 Las obras de drenaje permanentes se construirán en los límites del relleno que tienen como objeto la captación del escurrimiento de aguas arriba, los canales deberán revestirse con mortero: cemento-arena en proporción 1:3 o mediante un sampeado de piedra junteada con mortero cemento-arena en proporción 1:5. La velocidad del agua dentro de los canales no debe ser menor de 0.60 m/seg ni mayor de 2.00 m/seg.

18.1.2 Las obras de drenaje temporal deberán construirse mediante canales de sección triangular con taludes de 3:1, rellenos de grava de 3 cm de tamaño máximo para evitar socavaciones, y captar las aguas pluviales para conducir las fuera del área de trabajo.

18.1.3 Para los drenajes permanentes y temporales, el dimensionamiento de canales se deberá efectuar mediante la fórmula de Manning, obteniendo el gasto de diseño a partir del método racional americano o la fórmula de Burklieziegler.

Fórmula del método racional americano

$$Q = (C i A) / 0.36$$

Donde:

Q = Gasto máximo expresado en l/seg.

C = Coeficiente de escurrimiento (adimensional).

i = Intensidad de lluvia máxima horaria promedio, expresado en mm/hr.

A = Área por drenar expresado en ha.

0.36 = Factor de conversión.

Fórmula de Burklieziegler

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

Donde:

Q = Gasto máximo expresado en l/seg.

C = Coeficiente de escurrimiento (adimensional).

i = Intensidad de lluvia máxima horaria promedio, expresado en mm/hr.

S = Pendiente del terreno expresado en milésimas.

A = Área por drenar expresado en ha.

27.78 = Factor de conversión.

Estas obras de drenaje deberán diseñarse con capacidad para manejar caudales iguales o mayores al de una tormenta con periodo de retorno de 25 años.

19. INSTALACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Las instalaciones de energía eléctrica deberán satisfacer las necesidades de iluminación y energía en señalamientos exteriores e interiores, requerimientos en oficinas, e instalación de alumbrado en los frentes de trabajo.

20. SEÑALAMIENTOS

Los señalamientos se dividirán en 3 géneros: informativos, preventivos y restrictivos, pudiendo ser de tipo móvil o fijo y deberán ajustarse a lo establecido en el "Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras", editada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

21. SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN

21.1 El sistema de impermeabilización será utilizado para aquellos rellenos sanitarios donde el nivel de aguas freáticas se localice a menos de 10 m de profundidad.

21.2 El sistema de impermeabilización deberá diseñarse para toda la base del relleno y podrá ser de origen tanto natural como sintético, o bien alguna combinación de éstos, debiendo asegurar una permeabilidad mínima de 1×10^{-5} cm/seg. Se deberá demostrar que los materiales que integran

dicho sistema no se deterioran ni perderán sus propiedades y ser resistentes a los esfuerzos físicos que resulten del peso de los materiales y residuos que serán colocados sobre este sistema de impermeabilización.

21.3 Los materiales de origen natural pueden ser importados o bien del mismo sitio y en ambos casos se deberá especificar el manejo o trato que deberá dárseles para reducir su permeabilidad a los límites establecidos o en su defecto se deberá demostrar que su espesor es capaz de absorber o atenuar la carga contaminante de los lixiviados, evitando su migración hacia los acuíferos.

22. SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y EXTRACCIÓN DE LIXIVIADOS

22.1 Deberá instalarse un sistema de captación de lixiviados inmediatamente por encima del sistema de impermeabilización.

22.2 Los sistemas de captación de lixiviados deberán ser capas drenantes, ubicadas principalmente en la base del relleno y sobre cualquier capa superior donde se espere tener acumulación de líquidos y estar diseñadas para conducir de la forma más rápida posible el agua libre del relleno hasta cárcamos de colección. Estas capas drenantes podrán constituirse en forma de redes de drenes (tuberías perforadas) o trincheras. Su pendiente mínima debe ser de 0.4% y su conductividad hidráulica de 1×10^{-5} m/seg para espesores de 0.3 m o bien una transmisibilidad hidráulica de 3×10^{-6} m²/seg para espesores menores.

23. POZOS DE MONITOREO PARA LIXIVIADOS

23.1 Los sistemas de monitoreo para lixiviados deberán contar de por lo menos 3 pozos de muestreo que se sitúen uno en la dirección del flujo de las aguas subterráneas a 500 m antes de llegar al sitio del relleno sanitario, otro a 500 m aguas abajo del sitio, y el último en el sitio del relleno.

23.2 Los pozos que se ubican fuera del relleno sanitario deberán profundizar 2 m dentro del acuífero y el nivel o base del relleno.

23.3 La construcción de los pozos de monitoreo para lixiviados deberán realizarse únicamente con materiales y técnicas que aseguren la no contaminación del acuífero, y podrán ser de un diámetro mínimo que permita la introducción y recuperación del sistema muestreador debiendo ser este último resistente a la corrosión.

24. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE BIOGAS

24.1 Se deberá construir estructuras verticales de 60 a 100 cm de lado a manera de chimenea, con

malla y varilla, rellenos con piedra, esta estructura se desplantará 30 cm abajo del fondo del relleno y en la parte superior se cubre con una placa de concreto, dejando un tubo con cuello de ganso, u otro sistema dependiendo de la cantidad generada y el uso que se le de (ver anexo correspondiente).

24.2 Se deberán instalar 2 pozos por hectárea de relleno.

24.3 Independientemente del sistema de control que se use, el biogas que sea venteado o extraído, deberá ser quemado. El diseño de la instalación y del quemador deberá reunir las condiciones adecuadas para un óptimo funcionamiento.

25. SISTEMA DE MONITOREO PARA BIOGAS

25.1 El sistema de monitoreo de biogas será utilizado para aquellos rellenos sanitarios que sean construidos en oquedades, barrancas, depresiones, zanjas, etc., o en el caso que exista contacto directo de los residuos sólidos con las paredes, en las cuales se pueda presentar la migración de biogas de forma horizontal.

25.2 Los sistemas de monitoreo para identificar la migración de biogas estará integrado por pozos distribuidos a lo largo del perímetro del relleno sanitario.

Estos se construirán con una separación máxima de 50 m entre pozo y pozo y a una distancia mínima de 2 m del límite de los residuos sólidos. La profundidad máxima será igual al espesor de residuos sólidos más un metro.

26. ÁREA DE AMORTIGUAMIENTO

26.1 El área de amortiguamiento deberá diseñarse y construirse en un espacio perimetral que fluctúe entre 15 y 30 m.

26.2 Esta franja deberá estar forestada con especies vegetales que reduzcan la salida de polvos, ruido y materiales ligeros durante la operación.

27. ALMACÉN Y COBERTIZO

Se deberá construir un cobertizo para guardar equipo, herramienta, materiales que sean de uso para el relleno, el tamaño dependerá del equipo que se disponga, camionetas, traxcavos y deberá tener en el frente un patio de maniobras lo suficientemente grande para poder recibir vehículos que vengan a descargar materiales al almacén.

28. ÁREA ADMINISTRATIVA

El área administrativa deberá contar con el espacio suficiente para la instalación de las oficinas respectivas, así como el mobiliario y equipo que se requiera.

29. SERVICIOS SANITARIOS

Los servicios sanitarios se instalarán conforme a los requisitos que establezcan las disposiciones legales aplicables.

30. VIGILANCIA

Los gobiernos del Distrito Federal, de los Estados y municipios en sus respectivas jurisdicciones, son la autoridad competente para vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana.

31. SANCIONES

El incumplimiento de la presente norma oficial mexicana, será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en cada entidad federativa y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

32. BIBLIOGRAFÍA

32.1 Manual de Relleno Sanitario SEDUE, Subsecretaría de Ecología, 1984.

32.2 Manual de Hidráulica Azevedo Alvarez (Editorial Harla)

32.3 Mecánica de Suelos E. Juárez Badillo y A. Rico Rodríguez (1970)

32.4 Sanitary Landfill Design and Operation Dr. Brunner & D.J. Keller, U.S.E.P.A. 1971

32.5 Buranek, D. (1987) Construction Guide Liners, Civil Engineering, Nov. 1987

32.6 EPA Liners Workshop For Region VI and State Permit Writers, Dallas, Texas Environmental Protection Agency (1985)

32.7 Standar Number 54 Flexible Membrane Liners, Ann Arbor, Michigan, National Sanitation Fundation (1985)

32.8 Poly- America Inc. Reference Manual. An Engineering Aproach to Groundwater Protection, Gran Praire, Texas.

32.9 Plyfelt Ts. Chemié Linz (Manual de diseño y práctica).

32.10 Hazardous Waste Engineering Research Laboratory. U.S. Environmental Protection Agency.

32.11 Geosynthetic Design Guidance for Hazardous Waste. Landfill Cells and Surface Impoundments, Cincinatti, Ohio. Soil 6 Materia Engineers, Inc.

32.12 Dura-flex. An Innoovation for the Environmental Containment Industry. Grand Praire, Texas. Yazdani G. and Nobert J.

32.13 Manual de Manejo de Desechos Solidos Caterpillar.

32.14 Guía de Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios. Manuales de Organización Panamericana de la Salud. Jorge Jaranillo y Francisco Zepeda (1991).

32.15 Practical Waste Management. John R. Holmes (1983) Editorial John Wiley & Sons.

32.16 Estudio de Comportamiento de un Relleno Sanitario mediante una celda de control D.D.F. (1992).

33. VIGENCIA

La presente norma oficial mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

TABLA 2
RANGO DE POBLACIÓN

INSTALACION DE:	NUMERO	DE:		
	Hasta 50,000	50,001 a 200 mil	200 mil a 500 mil	500 mil en adelante
Área de acceso y espera		*	*	*
Cerca o área perimetral		*	*	*
Caseta de vigilancia	*	*	*	*
Caseta de pesaje y básculas		*	*	*
Caminos permanentes	*	*	*	*
Área de emergencia de disposición final		*	*	*
Drenajes perimetrales e interiores	*	*	*	*
Inst. de energía eléctrica			*	*
Pozos de monitoreo para lixiviados		*	*	*
Señalamientos	*	*	*	*
Sist. de captación de biogas	*	*	*	*
Área de amortiguamiento			*	*
Almacén y colortizo		*	*	*
Área administrativa		*	*	*
Servicios sanitarios			*	*
Sist. de monitoreo de biogas			*	*
Sistema de captación de lixiviados		*	*	*

TABLA 3
CRITERIOS BÁSICOS PARA CAMINOS

CARACTERÍSTICAS	CAMINOS EXTERNOS		CAMINOS INTERNOS		
	CLASES		DE:		CAMINOS
	Plano y ondulado	Montañoso	Muy accidentado	Plano y ondulado	Accidentado
Vel. de diseño (km/h)	60	40	30	40	25
Grado máximo	11°00'	2-4°30'	4-6°00'	23°00'	57°00'
Radio mínimo (m)	105	47	26	50	20
Ancho de corona (m)	6	6	6	4	4
Pendiente máxima (%)	8	9	10	5	5
Carga para diseño	IIS-20	IIS-20	IIS-20	IIS-10	IIS-10
Carga superf. de rodamiento	Revestido	Revestido	Revestido	Transitable en cualquier época	Transitable en cualquier época

**10.4 Normatividad de la Agencia
de Protección al Ambiente de los
Estados Unidos (EPA).
Title 40, Subchapter I, Part 258.**

PART 258—CRITERIA FOR MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS

Subpart A—General

- Sec.
258.1 Purpose, scope, and applicability.
258.2 Definitions.
258.3 Consideration of other Federal laws.
258.4 258.9 [Reserved]

Subpart B—Location Restrictions

- 258.10 Airport safety.
258.11 Floodplains.
258.12 Wetlands.
258.13 Fault areas.
258.14 Seismic impact zones.
258.15 Unstable areas.
258.16 Closure of existing municipal solid waste landfill units.
258.17 258.19 [Reserved]

Subpart C—Operating Criteria

- 258.20 Procedures for excluding the receipt of hazardous waste.
258.21 Cover material requirements.
258.22 Disease vector control.
258.23 Explosive gases control.
258.24 Air criteria.
258.25 Access requirements.
258.26 Run-on/run-off control systems.
258.27 Surface water requirements.
258.28 Liquids restrictions.
258.29 Recordkeeping requirements.
258.30 258.39 [Reserved]

Subpart D—Design Criteria

- 258.40 Design criteria.
258.41 258.49 [Reserved]

Subpart E—Ground-Water Monitoring and Corrective Action

- 258.50 Applicability.
258.51 Ground-water monitoring systems.
258.52 [Reserved]
258.53 Ground-water sampling and analysis requirements.
258.54 Detection monitoring program.
258.55 Assessment monitoring program.
258.56 Assessment of corrective measures.
258.57 Selection of remedy.
258.58 Implementation of the corrective action program.
258.59 [Reserved]

Subpart F—Closure and Post-closure Care

- 258.60 Closure criteria.
258.61 Post-closure care requirements.
258.62 258.69 [Reserved]

Subpart G—Financial Assurance Criteria

- 258.70 Applicability and effective date.
258.71 Financial assurance for closure.

- 258.72 Financial assurance for post-closure care.
258.73 Financial assurance for corrective action.
258.74 Allowable mechanisms.

APPENDIX I TO PART 258—CONSTITUENTS FOR DETECTION MONITORING

APPENDIX II TO PART 258—LIST OF HAZARDOUS AND ORGANIC CONSTITUENTS

AUTHORITY: 33 U.S.C. 1345 (d) and (e); 42 U.S.C. 6907(a)(3), 6912(a), 6941(a) and 6949(a).

SOURCE: 56 FR 50416, Oct. 9, 1991, unless otherwise noted.

Subpart A—General

§ 258.1 Purpose, scope, and applicability.

(a) The purpose of this part is to establish minimum national criteria under the Resource Conservation and Recovery Act (RCRA or the Act), as amended, for all municipal solid waste landfill (MSWLF) units and under the Clean Water Act, as amended, for municipal solid waste landfills that are used to dispose of sewage sludge. These minimum national criteria ensure the protection of human health and the environment.

(b) These Criteria apply to owners and operators of new MSWLF units, existing MSWLF units, and lateral expansions, except as otherwise specifically provided in this part; all other solid waste disposal facilities and practices that are not regulated under subtitle C of RCRA are subject to the criteria contained in part 257 of this chapter.

(c) These Criteria do not apply to municipal solid waste landfill units that do not receive waste after October 9, 1991.

(d)(1) MSWLF units that meet the conditions of § 258.1(e)(2) and receive waste after October 9, 1991 but stop receiving waste before April 9, 1994, are exempt from all the requirements of this part 258, except the final cover requirement specified in § 258.60(a). The final cover must be installed by October 9, 1994. Owners or operators of MSWLF units described in this paragraph that fail to complete cover installation by October 9, 1994 will be subject to all the requirements of this part 258, unless otherwise specified.

(2) MSWLF units that meet the conditions of § 258.1(e)(3) and receive waste after October 9, 1991 but stop receiving waste before the date designated by the state pursuant to § 258.1(e)(3), are exempt from all the requirements of this part 258, except the final cover requirement specified in § 258.60(a). The final cover must be installed within one year after the date designated by the state pursuant to § 258.1(e)(3). Owners or operators of MSWLF units described in this paragraph that fail to complete cover installation within one year after the date designated by the state pursuant

§ 258.1

to § 258.1(e)(3) will be subject to all the requirements of this part 258, unless otherwise specified.

(3) MSWLF units that meet the conditions of § 258.1(f)(1) and receive waste after October 9, 1991 but stop receiving waste before October 9, 1995, are exempt from all the requirements of this part 258, except the final cover requirement specified in § 258.60(a). The final cover must be installed by October 9, 1996. Owners or operators of MSWLF units described in this paragraph that fail to complete cover installation by October 9, 1996 will be subject to all the requirements of this part 258, unless otherwise specified.

(4) MSWLF units that do not meet the conditions of § 258.1 (c)(2), (c)(3), or (f) and receive waste after October 9, 1991 but stop receiving waste before October 9, 1994, are exempt from all the requirements of this part 258, except the final cover requirement specified in § 258.60(a). The final cover must be installed by October 9, 1994. Owners or operators of MSWLF units described in this paragraph that fail to complete cover installation by October 9, 1994 will be subject to all the requirements of this part 258, unless otherwise specified.

(c)(1) The compliance date for all requirements of this part 258, unless otherwise specified, is October 9, 1993 for all MSWLF units that receive waste on or after October 9, 1993, except those units that qualify for an extension under (c)(2), (3), or (4) of this section.

(2) The compliance date for all requirements of this part 258, unless otherwise specified, is April 9, 1994 for an existing MSWLF unit or a lateral expansion of an existing MSWLF unit that meets the following conditions:

(i) The MSWLF unit disposed of 100 tons per day or less of solid waste during a representative period prior to October 9, 1993;

(ii) The unit does not dispose of more than an average of 100 TPD of solid waste each month between October 9, 1993 and April 9, 1994;

(iii) The MSWLF unit is located in a state that has submitted an application for permit program approval to EPA by October 9, 1993, is located in the state of Iowa, or is located on Indian lands or Indian Country; and

(iv) The MSWLF unit is not on the National Priorities List (NPL) as found in appendix B to 40 CFR part 300.

(3) The compliance date for all requirements of this part 258, unless otherwise specified, for an existing MSWLF unit or lateral expansion of an existing MSWLF unit receiving flood-related waste from federally-designated areas within the major disasters declared for the states of Iowa, Illinois, Minnesota, Wisconsin, Missouri, Nebraska, Kansas, North Dakota, and South Dakota by the President during the summer of 1993 pursuant to

42 U.S.C. 5121 *et seq.*, shall be designated by the state in which the MSWLF unit is located in accordance with the following:

(i) The MSWLF unit may continue to accept waste up to April 9, 1994 without being subject to part 258, if the state in which the MSWLF unit is located determines that the MSWLF unit is needed to receive flood-related waste from a federally-designated disaster area as specified in (e)(3) of this section.

(ii) The MSWLF unit that receives an extension under paragraph (e)(3)(i) of this section may continue to accept waste up to an additional six months beyond April 9, 1994 without being subject to part 258, if the state in which the MSWLF unit is located determines that the MSWLF unit is needed to receive flood-related waste from a federally-designated disaster area specified in (e)(3) of this section.

(iii) In no case shall a MSWLF unit receiving an extension under paragraph (e)(3) (i) or (ii) of this section accept waste beyond October 9, 1994 without being subject to part 258.

(4) The compliance date for all requirements of this part 258, unless otherwise specified, is October 9, 1995 for a MSWLF unit that meets the conditions for the exemption in paragraph (f)(1) of this section.

(f)(1) Owners or operators of new MSWLF units, existing MSWLF units, and lateral expansions that dispose of less than twenty (20) tons of municipal solid waste daily, based on an annual average, are exempt from subpart D of this part, so long as there is no evidence of ground-water contamination from the MSWLF unit, and the MSWLF unit serves:

(i) A community that experiences an annual interruption of at least three consecutive months of surface transportation that prevents access to a regional waste management facility; or

(ii) A community that has no practicable waste management alternative and the landfill unit is located in an area that annually receives less than or equal to 25 inches of precipitation.

(2) Owners or operators of new MSWLF units, existing MSWLF units, and lateral expansions that meet the criteria in paragraph (f)(1)(i) or (f)(1)(ii) of this section must place in the operating record information demonstrating this.

(3) If the owner or operator of a new MSWLF unit, existing MSWLF unit, or lateral expansion has knowledge of ground-water contamination resulting from the unit that has asserted the exemption in paragraph (f)(1)(i) or (f)(1)(ii) of this section, the owner or operator must notify the state Director of such contamination and, thereafter, comply with subpart D of this part.

(g) Municipal solid waste landfill units failing to satisfy these criteria are considered open dumps

for purposes of State solid waste management planning under RCRA.

(h) Municipal solid waste landfill units failing to satisfy these criteria constitute open dumps, which are prohibited under section 4005 of RCRA.

(i) Municipal solid waste landfill units containing sewage sludge and failing to satisfy these Criteria violate sections 309 and 405(e) of the Clean Water Act.

(j) Subpart G of this part is effective April 9, 1995, except for MSWLF units meeting the requirements of paragraph (1)(1) of this section, in which case the effective date of subpart G is October 9, 1995.

[56 FR 51016, Oct. 9, 1991, as amended at 58 FR 51516, Oct. 1, 1993]

§ 258.2 Definitions.

Unless otherwise noted, all terms contained in this part are defined by their plain meaning. This section contains definitions for terms that appear throughout this part; additional definitions appear in the specific sections to which they apply.

Active life means the period of operation beginning with the initial receipt of solid waste and ending at completion of closure activities in accordance with § 258.60 of this part.

Active portion means that part of a facility or unit that has received or is receiving wastes and that has not been closed in accordance with § 258.60 of this part.

Aquifer means a geological formation, group of formations, or portion of a formation capable of yielding significant quantities of ground water to wells or springs.

Commercial solid waste means all types of solid waste generated by stores, offices, restaurants, warehouses, and other nonmanufacturing activities, excluding residential and industrial wastes.

Director of an approved State means the chief administrative officer of a State agency responsible for implementing the State municipal solid waste permit program or other system of prior approval that is deemed to be adequate by EPA under regulations published pursuant to sections 2002 and 4005 of RCRA.

Existing MSWLF unit means any municipal solid waste landfill unit that is receiving solid waste as of the appropriate dates specified in § 258.1(e). Waste placement in existing units must be consistent with past operating practices or modified practices to ensure good management.

Facility means all contiguous land and structures, other appurtenances, and improvements on the land used for the disposal of solid waste.

Ground water means water below the land surface in a zone of saturation.

Household waste means any solid waste (including garbage, trash, and sanitary waste in septic

tanks) derived from households (including single and multiple residences, hotels and motels, bunk-houses, ranger stations, crew quarters, campgrounds, picnic grounds, and day-use recreation areas).

Indian lands or Indian country means:

(1) All land within the limits of any Indian reservation under the jurisdiction of the United States Government notwithstanding the issuance of any patent, and including rights-of-way running throughout the reservation;

(2) All dependent Indian communities within the borders of the United States whether within the original or subsequently acquired territory thereof, and whether within or without the limits of the State; and

(3) All Indian allotments, the Indian titles to which have not been extinguished, including rights of way running through the same.

Indian Tribe or Tribe means any Indian tribe, band, nation, or community recognized by the Secretary of the Interior and exercising substantial governmental duties and powers on Indian lands.

Industrial solid waste means solid waste generated by manufacturing or industrial processes that is not a hazardous waste regulated under subtitle C of RCRA. Such waste may include, but is not limited to, waste resulting from the following manufacturing processes: Electric power generation; fertilizer/agricultural chemicals; food and related products/by-products; inorganic chemicals; iron and steel manufacturing; leather and leather products; nonferrous metals manufacturing/foundries; organic chemicals; plastics and resins manufacturing; pulp and paper industry; rubber and miscellaneous plastic products; stone, glass, clay, and concrete products; textile manufacturing; transportation equipment; and water treatment. This term does not include mining waste or oil and gas waste.

Lateral expansion means a horizontal expansion of the waste boundaries of an existing MSWLF unit.

Leachate means a liquid that has passed through or emerged from solid waste and contains soluble, suspended, or miscible materials removed from such waste.

Municipal solid waste landfill unit means a discrete area of land or an excavation that receives household waste, and that is not a land application unit, surface impoundment, injection well, or waste pile, as those terms are defined under § 257.2. A MSWLF unit also may receive other types of RCRA subtitle D wastes, such as commercial solid waste, nonhazardous sludge, conditionally exempt small quantity generator waste and industrial solid waste. Such a landfill may be publicly or privately owned. A MSWLF unit may be

§ 258.3

a new MSWLF unit, an existing MSWLF unit or a lateral expansion.

New MSWLF unit means any municipal solid waste landfill unit that has not received waste prior to October 9, 1993, or prior to October 9, 1995 if the MSWLF unit meets the conditions of § 258.1(d)(1).

Open burning means the combustion of solid waste without:

(1) Control of combustion air to maintain adequate temperature for efficient combustion.

(2) Containment of the combustion reaction in an enclosed device to provide sufficient residence time and mixing for complete combustion, and

(3) Control of the emission of the combustion products.

Operator means the person(s) responsible for the overall operation of a facility or part of a facility.

Owner means the person(s) who owns a facility or part of a facility.

Run-off means any rainwater, leachate, or other liquid that drains over land from any part of a facility.

Run-on means any rainwater, leachate, or other liquid that drains over land onto any part of a facility.

Saturated zone means that part of the earth's crust in which all voids are filled with water.

Sludge means any solid, semi-solid, or liquid waste generated from a municipal, commercial, or industrial wastewater treatment plant, water supply treatment plant, or air pollution control facility exclusive of the treated effluent from a wastewater treatment plant.

Solid waste means any garbage, or refuse, sludge from a wastewater treatment plant, water supply treatment plant, or air pollution control facility and other discarded material, including solid, liquid, semi-solid, or contained gaseous material resulting from industrial, commercial, mining, and agricultural operations, and from community activities, but does not include solid or dissolved materials in domestic sewage, or solid or dissolved materials in irrigation return flows or industrial discharges that are point sources subject to permit under 33 U.S.C. 1342, or source, special nuclear, or by-product material as defined by the Atomic Energy Act of 1954, as amended (68 Stat. 923).

State means any of the several States, the District of Columbia, the Commonwealth of Puerto Rico, the Virgin Islands, Guam, American Samoa, and the Commonwealth of the Northern Mariana Islands.

State Director means the chief administrative officer of the State agency responsible for implementing the State municipal solid waste permit program or other system of prior approval.

Uppermost aquifer means the geologic formation nearest the natural ground surface that is an aquifer, as well as, lower aquifers that are hydraulically interconnected with this aquifer within the facility's property boundary.

Waste management unit boundary means a vertical surface located at the hydraulically downgradient limit of the unit. This vertical surface extends down into the uppermost aquifer.

[56 FR 51016, Oct. 9, 1991; 57 FR 28627, June 26, 1992, as amended at 58 FR 51547, Oct. 1, 1993]

§ 258.3 Consideration of other Federal laws.

The owner or operator of a municipal solid waste landfill unit must comply with any other applicable Federal rules, laws, regulations, or other requirements.

§§ 258.4–258.9 [Reserved]

Subpart B—Location Restrictions

§ 258.10 Airport safety.

(a) Owners or operators of new MSWLF units, existing MSWLF units, and lateral expansions that are located within 10,000 feet (3,048 meters) of any airport runway end used by turbojet aircraft or within 5,000 feet (1,524 meters) of any airport runway end used by only piston-type aircraft must demonstrate that the units are designed and operated so that the MSWLF unit does not pose a bird hazard to aircraft.

(b) Owners or operators proposing to site new MSWLF units and lateral expansions within a five-mile radius of any airport runway end used by turbojet or piston-type aircraft must notify the affected airport and the Federal Aviation Administration (FAA).

(c) The owner or operator must place the demonstration in paragraph (a) of this section in the operating record and notify the State Director that it has been placed in the operating record.

(d) For purposes of this section:

(1) *Airport* means public-use airport open to the public without prior permission and without restrictions within the physical capacities of available facilities.

(2) *Bird hazard* means an increase in the likelihood of bird/aircraft collisions that may cause damage to the aircraft or injury to its occupants.

§ 258.11 Floodplains.

(a) Owners or operators of new MSWLF units, existing MSWLF units, and lateral expansions located in 100-year floodplains must demonstrate that the unit will not restrict the flow of the 100-year flood, reduce the temporary water storage ca-

capacity of the floodplain, or result in washout of solid waste so as to pose a hazard to human health and the environment. The owner or operator must place the demonstration in the operating record and notify the State Director that it has been placed in the operating record.

(b) For purposes of this section,

(1) *Floodplain* means the lowland and relatively flat areas adjoining inland and coastal waters, including flood-prone areas of offshore islands, that are inundated by the 100-year flood.

(2) *100-year flood* means a flood that has a 1-percent or greater chance of recurring in any given year or a flood of a magnitude equalled or exceeded once in 100 years on the average over a significantly long period.

(3) *Washout* means the carrying away of solid waste by waters of the base flood.

§ 258.12 Wetlands.

(a) New MSWLF units and lateral expansions shall not be located in wetlands, unless the owner or operator can make the following demonstrations to the Director of an approved State:

(1) Where applicable under section 404 of the Clean Water Act or applicable State wetlands laws, the presumption that practicable alternative to the proposed landfill is available which does not involve wetlands is clearly rebutted;

(2) The construction and operation of the MSWLF unit will not:

(i) Cause or contribute to violations of any applicable State water quality standard,

(ii) Violate any applicable toxic effluent standard or prohibition under Section 307 of the Clean Water Act,

(iii) Jeopardize the continued existence of endangered or threatened species or result in the destruction or adverse modification of a critical habitat, protected under the Endangered Species Act of 1973, and

(iv) Violate any requirement under the Marine Protection, Research, and Sanctuaries Act of 1972 for the protection of a marine sanctuary;

(3) The MSWLF unit will not cause or contribute to significant degradation of wetlands. The owner or operator must demonstrate the integrity of the MSWLF unit and its ability to protect ecological resources by addressing the following factors:

(i) Erosion, stability, and migration potential of native wetland soils, muds and deposits used to support the MSWLF unit;

(ii) Erosion, stability, and migration potential of dredged and fill materials used to support the MSWLF unit;

(iii) The volume and chemical nature of the waste managed in the MSWLF unit;

(iv) Impacts on fish, wildlife, and other aquatic resources and their habitat from release of the solid waste;

(v) The potential effects of catastrophic release of waste to the wetland and the resulting impacts on the environment; and

(vi) Any additional factors, as necessary, to demonstrate that ecological resources in the wetland are sufficiently protected.

(4) To the extent required under section 404 of the Clean Water Act or applicable State wetlands laws, steps have been taken to attempt to achieve no net loss of wetlands (as defined by acreage and function) by first avoiding impacts to wetlands to the maximum extent practicable as required by paragraph (a)(1) of this section, then minimizing unavoidable impacts to the maximum extent practicable, and finally offsetting remaining unavoidable wetland impacts through all appropriate and practicable compensatory mitigation actions (e.g., restoration of existing degraded wetlands or creation of man-made wetlands); and

(5) Sufficient information is available to make a reasonable determination with respect to these demonstrations.

(b) For purposes of this section, *wetlands* means those areas that are defined in 40 CFR 232.2(r).

§ 258.13 Fault areas.

(a) New MSWLF units and lateral expansions shall not be located within 200 feet (60 meters) of a fault that has had displacement in Holocene time unless the owner or operator demonstrates to the Director of an approved State that an alternative setback distance of less than 200 feet (60 meters) will prevent damage to the structural integrity of the MSWLF unit and will be protective of human health and the environment.

(b) For the purposes of this section:

(1) *Fault* means a fracture or a zone of fractures in any material along which strata on one side have been displaced with respect to that on the other side.

(2) *Displacement* means the relative movement of any two sides of a fault measured in any direction.

(3) *Holocene* means the most recent epoch of the Quaternary period, extending from the end of the Pleistocene Epoch to the present.

§ 258.14 Seismic impact zones.

(a) New MSWLF units and lateral expansions shall not be located in seismic impact zones, unless the owner or operator demonstrates to the Director of an approved State/Tribe that all containment structures, including liners, leachate collection systems, and surface water control systems, are designed to resist the maximum horizontal acceleration in filled earth material for the site.

§ 258.15

The owner or operator must place the demonstration in the operating record and notify the State Director that it has been placed in the operating record.

(b) For the purposes of this section:

(1) *Seismic impact zone* means an area with a ten percent or greater probability that the maximum horizontal acceleration in lithified earth material, expressed as a percentage of the earth's gravitational pull (g), will exceed 0.10g in 250 years.

(2) *Maximum horizontal acceleration in lithified earth material* means the maximum expected horizontal acceleration depicted on a seismic hazard map, with a 90 percent or greater probability that the acceleration will not be exceeded in 250 years, or the maximum expected horizontal acceleration based on a site-specific seismic risk assessment.

(3) *Lithified earth material* means all rock, including all naturally occurring and naturally formed aggregates or masses of minerals or small particles of older rock that formed by crystallization of magma or by induration of loose sediments. This term does not include man-made materials, such as fill, concrete, and asphalt, or unconsolidated earth materials, soil, or regolith lying at or near the earth surface.

[56 FR 51016, Oct. 9, 1991; 57 FR 28627, June 26, 1992]

§ 258.15 Unstable areas.

(a) Owners or operators of new MSWLF units, existing MSWLF units, and lateral expansions located in an unstable area must demonstrate that engineering measures have been incorporated into the MSWLF unit's design to ensure that the integrity of the structural components of the MSWLF unit will not be disrupted. The owner or operator must place the demonstration in the operating record and notify the State Director that it has been placed in the operating record. The owner or operator must consider the following factors, at a minimum, when determining whether an area is unstable:

(1) On-site or local soil conditions that may result in significant differential settling;

(2) On-site or local geologic or geomorphologic features; and

(3) On-site or local human-made features or elements (both surface and subsurface).

(b) For purposes of this section:

(1) *Unstable area* means a location that is susceptible to natural or human-induced events or forces capable of impairing the integrity of some or all of the landfill structural components responsible for preventing releases from a landfill. Unstable areas can include poor foundation conditions,

areas susceptible to mass movements, and Karst terranes.

(2) *Structural components* means liners, leachate collection systems, final covers, run-on/run-off systems, and any other component used in the construction and operation of the MSWLF that is necessary for protection of human health and the environment.

(3) *Poor foundation conditions* means those areas where features exist which indicate that a natural or man-induced event may result in inadequate foundation support for the structural components of an MSWLF unit.

(4) *Areas susceptible to mass movement* means those areas of influence (i.e., areas characterized as having an active or substantial possibility of mass movement) where the movement of earth material at, beneath, or adjacent to the MSWLF unit, because of natural or man-induced events, results in the downslope transport of soil and rock material by means of gravitational influence. Areas of mass movement include, but are not limited to, landslides, avalanches, debris slides and flows, soil fluctuation, block sliding, and rock fall.

(5) *Karst terranes* means areas where karst topography, with its characteristic surface and subterranean features, is developed as the result of dissolution of limestone, dolomite, or other soluble rock. Characteristic physiographic features present in karst terranes include, but are not limited to, sinkholes, sinking streams, caves, large springs, and blind valleys.

§ 258.16 Closure of existing municipal solid waste landfill units.

(a) Existing MSWLF units that cannot make the demonstration specified in § 258.10(a), pertaining to airports, § 258.11(a), pertaining to floodplains, or § 258.15(a), pertaining to unstable areas, must close by October 9, 1996, in accordance with § 258.60 of this part and conduct post-closure activities in accordance with § 258.61 of this part.

(b) The deadline for closure required by paragraph (a) of this section may be extended up to two years if the owner or operator demonstrates to the Director of an approved State that:

(1) There is no available alternative disposal capacity;

(2) There is no immediate threat to human health and the environment.

NOTE TO SUBPART B: Owners or operators of MSWLFs should be aware that a State in which their landfill is located or is to be located, may have adopted a state wellhead protection program in accordance with section 1428 of the Safe Drinking Water Act. Such state wellhead protection programs may impose additional requirements on owners or operators of MSWLFs than those set forth in this part.

§§ 258.17--258.19 [Reserved]

Subpart C—Operating Criteria

§ 258.20 Procedures for excluding the receipt of hazardous waste.

(a) Owners or operators of all MSWLF units must implement a program at the facility for detecting and preventing the disposal of regulated hazardous wastes as defined in part 261 of this chapter and polychlorinated biphenyls (PCB) wastes as defined in part 761 of this chapter. This program must include, at a minimum:

- (1) Random inspections of incoming loads unless the owner or operator takes other steps to ensure that incoming loads do not contain regulated hazardous wastes or PCB wastes;
- (2) Records of any inspections;
- (3) Training of facility personnel to recognize regulated hazardous waste and PCB wastes; and
- (4) Notification of State Director of authorized States under Subtitle C of RCRA or the EPA Regional Administrator if in an unauthorized State if a regulated hazardous waste or PCB waste is discovered at the facility.

(b) For purposes of this section, *regulated hazardous waste* means a solid waste that is a hazardous waste, as defined in 40 CFR 261.3, that is not excluded from regulation as a hazardous waste under 40 CFR 261.4(b) or was not generated by a conditionally exempt small quantity generator as defined in § 261.5 of this chapter.

§ 258.21 Cover material requirements.

(a) Except as provided in paragraph (b) of this section, the owners or operators of all MSWLF units must cover disposed solid waste with six inches of earthen material at the end of each operating day, or at more frequent intervals if necessary, to control disease vectors, fires, odors, blowing litter, and scavenging.

(b) Alternative materials of an alternative thickness (other than at least six inches of earthen material) may be approved by the Director of an approved State if the owner or operator demonstrates that the alternative material and thickness control disease vectors, fires, odors, blowing litter, and scavenging without presenting a threat to human health and the environment.

(c) The Director of an approved State may grant a temporary waiver from the requirement of paragraph (a) and (b) of this section if the owner or operator demonstrates that there are extreme seasonal climatic conditions that make meeting such requirements impractical.

§ 258.22 Disease vector control.

(a) Owners or operators of all MSWLF units must prevent or control on-site populations of disease vectors using techniques appropriate for the protection of human health and the environment.

(b) For purposes of this section, *disease vectors* means any rodents, flies, mosquitoes, or other animals, including insects, capable of transmitting disease to humans.

§ 258.23 Explosive gases control.

(a) Owners or operators of all MSWLF units must ensure that:

- (1) The concentration of methane gas generated by the facility does not exceed 25 percent of the lower explosive limit for methane in facility structures (excluding gas control or recovery system components); and
- (2) The concentration of methane gas does not exceed the lower explosive limit for methane at the facility property boundary.

(b) Owners or operators of all MSWLF units must implement a routine methane monitoring program to ensure that the standards of paragraph (a) of this section are met.

(1) The type and frequency of monitoring must be determined based on the following factors:

- (i) Soil conditions;
- (ii) The hydrogeologic conditions surrounding the facility;
- (iii) The hydraulic conditions surrounding the facility; and
- (iv) The location of facility structures and property boundaries.

(2) The minimum frequency of monitoring shall be quarterly.

(c) If methane gas levels exceeding the limits specified in paragraph (a) of this section are detected, the owner or operator must:

(1) Immediately take all necessary steps to ensure protection of human health and notify the State Director;

(2) Within seven days of detection, place in the operating record the methane gas levels detected and a description of the steps taken to protect human health; and

(3) Within 60 days of detection, implement a remediation plan for the methane gas releases, place a copy of the plan in the operating record, and notify the State Director that the plan has been implemented. The plan shall describe the nature and extent of the problem and the proposed remedy.

(4) The Director of an approved State may establish alternative schedules for demonstrating compliance with paragraphs (c) (2) and (3) of this section.

(d) For purposes of this section, *lower explosive limit* means the lowest percent by volume of a

§ 258.24

mixture of explosive gases in air that will prepropagate a flame at 25 °C and atmospheric pressure.

§ 258.24 Air criteria.

(a) Owners or operators of all MSWLFs must ensure that the units not violate any applicable requirements developed under a State Implementation Plan (SIP) approved or promulgated by the Administrator pursuant to section 110 of the Clean Air Act, as amended.

(b) Open burning of solid waste, except for the infrequent burning of agricultural wastes, silvicultural wastes, landclearing debris, diseased trees, or debris from emergency cleanup operations, is prohibited at all MSWLF units.

§ 258.25 Access requirements.

Owners or operators of all MSWLF units must control public access and prevent unauthorized vehicular traffic and illegal dumping of wastes by using artificial barriers, natural barriers, or both, as appropriate to protect human health and the environment.

§ 258.26 Run-on/run-off control systems.

(a) Owners or operators of all MSWLF units must design, construct, and maintain:

(1) A run-on control system to prevent flow onto the active portion of the landfill during the peak discharge from a 25-year storm;

(2) A run-off control system from the active portion of the landfill to collect and control at least the water volume resulting from a 24-hour, 25-year storm.

(b) Run-off from the active portion of the landfill unit must be handled in accordance with § 258.27(a) of this part.

[56 FR 51016, Oct. 9, 1991; 57 FR 28627, June 26, 1992]

§ 258.27 Surface water requirements.

MSWLF units shall not:

(a) Cause a discharge of pollutants into waters of the United States, including wetlands, that violates any requirements of the Clean Water Act, including, but not limited to, the National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) requirements, pursuant to section 402.

(b) Cause the discharge of a nonpoint source of pollution to waters of the United States, including wetlands, that violates any requirement of an area-wide or State-wide water quality management plan that has been approved under section 208 or 319 of the Clean Water Act, as amended.

§ 258.28 Liquids restrictions.

(a) Bulk or noncontaminated liquid waste may not be placed in MSWLF units unless:

(1) The waste is household waste other than septic waste; or

(2) The waste is leachate or gas condensate derived from the MSWLF unit and the MSWLF unit, whether it is a new or existing MSWLF, or lateral expansion, is designed with a composite liner and leachate collection system as described in § 258.40(a)(2) of this part. The owner or operator must place the demonstration in the operating record and notify the State Director that it has been placed in the operating record.

(b) Containers holding liquid waste may not be placed in a MSWLF unit unless:

(1) The container is a small container similar in size to that normally found in household waste;

(2) The container is designed to hold liquids for use other than storage; or

(3) The waste is household waste.

(c) For purposes of this section:

(1) *Liquid waste* means any waste material that is determined to contain "free liquids" as defined by Method 9095 (Paint Filter Liquids Test), as described in "Test Methods for Evaluating Solid Wastes, Physical/Chemical Methods" (EPA Pub. No. SW-846).

(2) *Gas condensate* means the liquid generated as a result of gas recovery process(es) at the MSWLF unit.

§ 258.29 Recordkeeping requirements.

(a) The owner or operator of a MSWLF unit must record and retain near the facility in an operating record or in an alternative location approved by the Director of an approved State the following information as it becomes available:

(1) Any location restriction demonstration required under subpart B of this part;

(2) Inspection records, training procedures, and notification procedures required in § 258.20 of this part;

(3) Gas monitoring results from monitoring and any remediation plans required by § 258.23 of this part;

(4) Any MSWLF unit design documentation for placement of leachate or gas condensate in a MSWLF unit as required under § 258.28(a)(2) of this part;

(5) Any demonstration, certification, finding, monitoring, testing, or analytical data required by subpart E of this part;

(6) Closure and post-closure care plans and any monitoring, testing, or analytical data as required by §§ 258.60 and 258.61 of this part; and

(7) Any cost estimates and financial assurance documentation required by subpart G of this part.

(8) Any information demonstrating compliance with small community exemption as required by § 258.1(f)(2).

(b) The owner/operator must notify the State Director when the documents from paragraph (a) of this section have been placed or added to the operating record, and all information contained in the operating record must be furnished upon request to the State Director or be made available at all reasonable times for inspection by the State Director.

(c) The Director of an approved State can set alternative schedules for recordkeeping and notification requirements as specified in paragraphs (a) and (b) of this section, except for the notification requirements in § 258.10(b) and § 258.55(g)(1)(iii).

§§ 258.30--258.39 [Reserved]

Subpart D--Design Criteria

§ 258.40 Design criteria.

(a) New MSWLF units and lateral expansions shall be constructed:

(1) In accordance with a design approved by the Director of an approved State or as specified in § 258.40(e) for unapproved States. The design must ensure that the concentration values listed in Table 1 of this section will not be exceeded in the uppermost aquifer at the relevant point of compliance, as specified by the Director of an approved State under paragraph (d) of this section, or

(2) With a composite liner, as defined in paragraph (h) of this section and a leachate collection system that is designed and constructed to maintain less than a 30-cm depth of leachate over the liner.

(h) For purposes of this section, *composite liner* means a system consisting of two components; the upper component must consist of a minimum 30-mil flexible membrane liner (FML), and the lower component must consist of at least a two-foot layer of compacted soil with a hydraulic conductivity of no more than 1×10^{-7} cm/sec. FML components consisting of high density polyethylene (HDPE) shall be at least 60-mil thick. The FML component must be installed in direct and uniform contact with the compacted soil component.

(c) When approving a design that complies with paragraph (a)(1) of this section, the Director of an approved State shall consider at least the following factors:

(1) The hydrogeologic characteristics of the facility and surrounding land;

(2) The climatic factors of the area; and

(3) The volume and physical and chemical characteristics of the leachate.

(d) The relevant point of compliance specified by the Director of an approved State shall be no more than 150 meters from the waste management unit boundary and shall be located on land owned by the owner of the MSWLF unit. In determining the relevant point of compliance State Director shall consider at least the following factors:

(1) The hydrogeologic characteristics of the facility and surrounding land;

(2) The volume and physical and chemical characteristics of the leachate;

(3) The quantity, quality, and direction, of flow of ground water;

(4) The proximity and withdrawal rate of the ground-water users;

(5) The availability of alternative drinking water supplies;

(6) The existing quality of the ground water, including other sources of contamination and their cumulative impacts on the ground water, and whether the ground water is currently used or reasonably expected to be used for drinking water;

(7) Public health, safety, and welfare effects; and

(8) Practicable capability of the owner or operator.

(e) If EPA does not promulgate a rule establishing the procedures and requirements for State compliance with RCRA section 4005(c)(1)(B) by October 9, 1993, owners and operators in unapproved States may utilize a design meeting the performance standard in § 258.40(a)(1) if the following conditions are met:

(1) The State determines the design meets the performance standard in § 258.40(a)(1);

(2) The State petitions EPA to review its determination; and

(3) EPA approves the State determination or does not disapprove the determination within 30 days.

NOTE TO SUBPART D: 40 CFR part 239 is reserved to establish the procedures and requirements for State compliance with RCRA section 4005(c)(1)(B).

TABLE 1

Chemical	MCL (mg/l)
Arsenic	0.05
Barium	1.0
Benzene	0.005
Cadmium	0.01
Carbon tetrachloride	0.005
Chromium (hexavalent)	0.05
2,4-Dichlorophenoxy acetic acid	0.1
1,4-Dichlorobenzene	0.075
1,2-Dichloroethane	0.005
1,1-Dichloroethylene	0.007
Dieldrin	0.0002
Fluoride	4
Lindane	0.004
Lead	0.05
Mercury	0.002

§ 258.50

TABLE 1—Continued

Chemical	MCL (mg/l)
Methoxychlor	0.1
Nitrate	10
Selenium	0.01
Silver	0.05
Toxaphene	0.035
1,1,1-Trichloromethane	0.2
Trichloroethylene	0.035
2,4,5-Trichlorophenoxy acetic acid	0.01
Vinyl Chloride	0.002

Subpart E—Ground-Water Monitoring and Corrective Action

§ 258.50 Applicability.

(a) The requirements in this part apply to MSWLF units, except as provided in paragraph (b) of this section.

(b) Ground-water monitoring requirements under § 258.51 through § 258.55 of this part may be suspended by the Director of an approved State for a MSWLF unit if the owner or operator can demonstrate that there is no potential for migration of hazardous constituents from that MSWLF unit to the uppermost aquifer (as defined in § 258.2) during the active life of the unit and the post-closure care period. This demonstration must be certified by a qualified ground-water scientist and approved by the Director of an approved State, and must be based upon:

(1) Site-specific field collected measurements, sampling, and analysis of physical, chemical, and biological processes affecting contaminant fate and transport, and

(2) Contaminant fate and transport predictions that maximize contaminant migration and consider impacts on human health and environment.

(c) Owners and operators of MSWLF units, except those meeting the conditions of § 258.1(d), must comply with the ground-water monitoring requirements of this part according to the following schedule unless an alternative schedule is specified under paragraph (d) of this section:

(1) Existing MSWLF units and lateral expansions less than one mile from a drinking water intake (surface or subsurface) must be in compliance with the ground-water monitoring requirements specified in §§ 258.51-258.55 by October 9, 1994;

(2) Existing MSWLF units and lateral expansions greater than one mile but less than two miles from a drinking water intake (surface or subsurface) must be in compliance with the ground-water monitoring requirements specified in §§ 258.51-258.55 by October 9, 1995;

(3) Existing MSWLF units and lateral expansions greater than two miles from a drinking water intake (surface or subsurface) must be in compli-

ance with the ground-water monitoring requirements specified in §§ 258.51-258.55 by October 9, 1996.

(4) New MSWLF units must be in compliance with the ground-water monitoring requirements specified in §§ 258.51-258.55 before waste can be placed in the unit.

(d) The Director of an approved State may specify an alternative schedule for the owners or operators of existing MSWLF units and lateral expansions to comply with the ground-water monitoring requirements specified in §§ 258.51-258.55. This schedule must ensure that 50 percent of all existing MSWLF units are in compliance by October 9, 1994 and all existing MSWLF units are in compliance by October 9, 1996. In setting the compliance schedule, the Director of an approved State must consider potential risks posed by the unit to human health and the environment. The following factors should be considered in determining potential risk:

(1) Proximity of human and environmental receptors;

(2) Design of the MSWLF unit;

(3) Age of the MSWLF unit;

(4) The size of the MSWLF unit; and

(5) Types and quantities of wastes disposed including sewage sludge; and

(6) Resource value of the underlying aquifer, including:

(i) Current and future uses;

(ii) Proximity and withdrawal rate of users; and

(iii) Ground-water quality and quantity.

(e) Owners and operators of all MSWLF units that meet the conditions of § 258.1(d)(1) must comply with the ground-water monitoring requirements of this part according to the following schedule:

(1) All MSWLF units less than two miles from a drinking water intake (surface or subsurface) must be in compliance with the ground-water monitoring requirements specified in §§ 258.51 through 258.55 by October 9, 1995;

(2) All MSWLF units greater than two miles from a drinking water intake (surface or subsurface) must be in compliance with the ground-water monitoring requirements specified in §§ 258.51 through 258.55 by October 9, 1996.

(f) Once established at a MSWLF unit, ground-water monitoring shall be conducted throughout the active life and post-closure care period of that MSWLF unit as specified in § 258.61.

(g) For the purposes of this subpart, a *qualified ground-water scientist* is a scientist or engineer who has received a baccalaureate or post-graduate degree in the natural sciences or engineering and has sufficient training and experience in ground-water hydrology and related fields as may be demonstrated by State registration, professional Certifi-

cations, or completion of accredited university programs that enable that individual to make sound professional judgements regarding ground-water monitoring, contaminant fate and transport, and corrective action.

(h) The Director of an approved State may establish alternative schedules for demonstrating compliance with § 258.51(d)(2), pertaining to notification of placement of certification in operating record; § 258.54(c)(1), pertaining to notification that statistically significant increase (SSI) notice is in operating record; § 258.54(e) (2) and (3), pertaining to an assessment monitoring program; § 258.55(b), pertaining to sampling and analyzing appendix II constituents; § 258.55(d)(1), pertaining to placement of notice (appendix II constituents detected) in record and notification of notice in record; § 258.55(d)(2), pertaining to sampling for appendix I and II to this part; § 258.55(g), pertaining to notification (and placement of notice in record) of SSI above ground-water protection standard; §§ 258.55(g)(1)(iv) and 258.56(a), pertaining to assessment of corrective measures; § 258.57(a), pertaining to selection of remedy and notification of placement in record; § 258.58(c)(4), pertaining to notification of placement in record (alternative corrective action measures); and § 258.58(f), pertaining to notification of placement in record (certification of remedy completed).

[56 FR 51016, Oct. 9, 1991; 57 FR 28628, June 26, 1992, as amended at 58 FR 51547, Oct. 1, 1993]

§ 258.51 Ground-water monitoring systems.

(a) A ground-water monitoring system must be installed that consists of a sufficient number of wells, installed at appropriate locations and depths, to yield ground-water samples from the uppermost aquifer (as defined in § 258.2) that:

(1) Represent the quality of background ground water that has not been affected by leakage from a unit. A determination of background quality may include sampling of wells that are not hydraulically upgradient of the waste management area where:

(i) Hydrogeologic conditions do not allow the owner or operator to determine what wells are hydraulically upgradient; or

(ii) Sampling at other wells will provide an indication of background ground-water quality that is as representative or more representative than that provided by the upgradient wells; and

(2) Represent the quality of ground water passing the relevant point of compliance specified by Director of an approved State under § 258.40(d) or at the waste management unit boundary in unapproved States. The downgradient monitoring system must be installed at the relevant point of com-

pliance specified by the Director of an approved State under § 258.40(d) or at the waste management unit boundary in unapproved States that ensures detection of ground-water contamination in the uppermost aquifer. When physical obstacles preclude installation of ground-water monitoring wells at the relevant point of compliance at existing units, the down-gradient monitoring system may be installed at the closest practicable distance hydraulically down-gradient from the relevant point of compliance specified by the Director of an approved State under § 258.40 that ensure detection of groundwater contamination in the uppermost aquifer.

(b) The Director of an approved State may approve a multiunit ground-water monitoring system instead of separate ground-water monitoring systems for each MSWLF unit when the facility has several units, provided the multi-unit ground-water monitoring system meets the requirement of § 258.51(a) and will be as protective of human health and the environment as individual monitoring systems for each MSWLF unit, based on the following factors:

- (1) Number, spacing, and orientation of the MSWLF units;
- (2) Hydrogeologic setting;
- (3) Site history;
- (4) Engineering design of the MSWLF units, and
- (5) Type of waste accepted at the MSWLF units.

(c) Monitoring wells must be cased in a manner that maintains the integrity of the monitoring well bore hole. This casing must be screened or perforated and packed with gravel or sand, where necessary, to enable collection of ground-water samples. The annular space (i.e., the space between the bore hole and well casing) above the sampling depth must be sealed to prevent contamination of samples and the ground water.

(1) The owner or operator must notify the State Director that the design, installation, development, and decommission of any monitoring wells, piezometers and other measurement, sampling, and analytical devices documentation has been placed in the operating record; and

(2) The monitoring wells, piezometers, and other measurement, sampling, and analytical devices must be operated and maintained so that they perform to design specifications throughout the life of the monitoring program.

(d) The number, spacing, and depths of monitoring systems shall be:

(1) Determined based upon site-specific technical information that must include thorough characterization of:

(i) Aquifer thickness, ground-water flow rate, ground-water flow direction including seasonal

§ 258.53

and temporal fluctuations in ground-water flow, and

(ii) Saturated and unsaturated geologic units and fill materials overlying the uppermost aquifer, materials comprising the uppermost aquifer, and materials comprising the confining unit defining the lower boundary of the uppermost aquifer, including, but not limited to: Thicknesses, stratigraphy, lithology, hydraulic conductivities, porosities and effective porosities.

(2) Certified by a qualified ground-water scientist or approved by the Director of an approved State. Within 14 days of this certification, the owner or operator must notify the State Director that the certification has been placed in the operating record.

§ 258.52 [Reserved]

§ 258.53 Ground-water sampling and analysis requirements.

(a) The ground-water monitoring program must include consistent sampling and analysis procedures that are designed to ensure monitoring results that provide an accurate representation of ground-water quality at the background and downgradient wells installed in compliance with § 258.51(a) of this part. The owner or operator must notify the State Director that the sampling and analysis program documentation has been placed in the operating record and the program must include procedures and techniques for:

- (1) Sample collection;
- (2) Sample preservation and shipment;
- (3) Analytical procedures;
- (4) Chain of custody control; and
- (5) Quality assurance and quality control.

(b) The ground-water monitoring program must include sampling and analytical methods that are appropriate for ground-water sampling and that accurately measure hazardous constituents and other monitoring parameters in ground-water samples. Ground-water samples shall not be field-filtered prior to laboratory analysis.

(c) The sampling procedures and frequency must be protective of human health and the environment.

(d) Ground-water elevations must be measured in each well immediately prior to purging, each time ground water is sampled. The owner or operator must determine the rate and direction of ground-water flow each time ground water is sampled. Ground-water elevations in wells which monitor the same waste management area must be measured within a period of time short enough to avoid temporal variations in ground-water flow which could preclude accurate determination of ground-water flow rate and direction.

(e) The owner or operator must establish background ground-water quality in a hydraulically

upgradient or background well(s) for each of the monitoring parameters or constituents required in the particular ground-water monitoring program that applies to the MSWLF unit, as determined under § 258.54(a) or § 258.55(a) of this part. Background ground-water quality may be established at wells that are not located hydraulically upgradient from the MSWLF unit if it meets the requirements of § 258.51(a)(1).

(f) The number of samples collected to establish ground-water quality data must be consistent with the appropriate statistical procedures determined pursuant to paragraph (g) of this section. The sampling procedures shall be those specified under § 258.54(b) for detection monitoring, § 258.55 (b) and (d) for assessment monitoring, and § 258.56(b) of corrective action.

(g) The owner or operator must specify in the operating record one of the following statistical methods to be used in evaluating ground-water monitoring data for each hazardous constituent. The statistical test chosen shall be conducted separately for each hazardous constituent in each well.

(1) A parametric analysis of variance (ANOVA) followed by multiple comparisons procedures to identify statistically significant evidence of contamination. The method must include estimation and testing of the contrasts between each compliance well's mean and the background mean levels for each constituent.

(2) An analysis of variance (ANOVA) based on ranks followed by multiple comparisons procedures to identify statistically significant evidence of contamination. The method must include estimation and testing of the contrasts between each compliance well's median and the background median levels for each constituent.

(3) A tolerance or prediction interval procedure in which an interval for each constituent is established from the distribution of the background data, and the level of each constituent in each compliance well is compared to the upper tolerance or prediction limit.

(4) A control chart approach that gives control limits for each constituent.

(5) Another statistical test method that meets the performance standards of § 258.53(h). The owner or operator must place a justification for this alternative in the operating record and notify the State Director of the use of this alternative test. The justification must demonstrate that the alternative method meets the performance standards of § 258.53(h).

(h) Any statistical method chosen under § 258.53(g) shall comply with the following performance standards, as appropriate:

(1) The statistical method used to evaluate ground-water monitoring data shall be appropriate for the distribution of chemical parameters or haz-

ardous constituents. If the distribution of the chemical parameters or hazardous constituents is shown by the owner or operator to be inappropriate for a normal theory test, then the data should be transformed or a distribution-free theory test should be used. If the distributions for the constituents differ, more than one statistical method may be needed.

(2) If an individual well comparison procedure is used to compare an individual compliance well constituent concentration with background constituent concentrations or a ground-water protection standard, the test shall be done at a Type I error level no less than 0.01 for each testing period. If a multiple comparisons procedure is used, the Type I experiment wise error rate for each testing period shall be no less than 0.05; however, the Type I error of no less than 0.01 for individual well comparisons must be maintained. This performance standard does not apply to tolerance intervals, prediction intervals, or control charts.

(3) If a control chart approach is used to evaluate ground-water monitoring data, the specific type of control chart and its associated parameter values shall be protective of human health and the environment. The parameters shall be determined after considering the number of samples in the background data base, the data distribution, and the range of the concentration values for each constituent of concern.

(4) If a tolerance interval or a predictional interval is used to evaluate ground-water monitoring data, the levels of confidence and, for tolerance intervals, the percentage of the population that the interval must contain, shall be protective of human health and the environment. These parameters shall be determined after considering the number of samples in the background data base, the data distribution, and the range of the concentration values for each constituent of concern.

(5) The statistical method shall account for data below the limit of detection with one or more statistical procedures that are protective of human health and the environment. Any practical quantitation limit (pql) that is used in the statistical method shall be the lowest concentration level that can be reliably achieved within specified limits of precision and accuracy during routine laboratory operating conditions that are available to the facility.

(6) If necessary, the statistical method shall include procedures to control or correct for seasonal and spatial variability as well as temporal correlation in the data.

(i) The owner or operator must determine whether or not there is a statistically significant increase over background values for each parameter or constituent required in the particular ground-water monitoring program that applies to the

MSWLF unit, as determined under §§ 258.54(a) or 258.55(a) of this part.

(1) In determining whether a statistically significant increase has occurred, the owner or operator must compare the ground-water quality of each parameter or constituent at each monitoring well designated pursuant to § 258.51(a)(2) to the background value of that constituent, according to the statistical procedures and performance standards specified under paragraphs (g) and (h) of this section.

(2) Within a reasonable period of time after completing sampling and analysis, the owner or operator must determine whether there has been a statistically significant increase over background at each monitoring well.

§258.54 Detection monitoring program.

(a) Detection monitoring is required at MSWLF units at all ground-water monitoring wells defined under §§ 258.51 (a)(1) and (a)(2) of this part. At a minimum, a detection monitoring program must include the monitoring for the constituents listed in appendix I to this part.

(1) The Director of an approved State may delete any of the appendix I monitoring parameters for a MSWLF unit if it can be shown that the removed constituents are not reasonably expected to be in or derived from the waste contained in the unit.

(2) The Director of an approved State may establish an alternative list of inorganic indicator parameters for a MSWLF unit, in lieu of some or all of the heavy metals (constituents 1-15 in appendix I to this part), if the alternative parameters provide a reliable indication of inorganic releases from the MSWLF unit to the ground water. In determining alternative parameters, the Director shall consider the following factors:

(i) The types, quantities, and concentrations of constituents in wastes managed at the MSWLF unit;

(ii) The mobility, stability, and persistence of waste constituents or their reaction products in the unsaturated zone beneath the MSWLF unit;

(iii) The detectability of indicator parameters, waste constituents, and reaction products in the ground water; and

(iv) The concentration or values and coefficients of variation of monitoring parameters or constituents in the groundwater background.

(b) The monitoring frequency for all constituents listed in appendix I to this part, or in the alternative list approved in accordance with paragraph (a)(2) of this section, shall be at least semi-annual during the active life of the facility (including closure) and the post-closure period. A minimum of four independent samples from each well

§ 258.55

(background and downgradient) must be collected and analyzed for the appendix I constituents, or the alternative list approved in accordance with paragraph (a)(2) of this section, during the first semiannual sampling event. At least one sample from each well (background and downgradient) must be collected and analyzed during subsequent semiannual sampling events. The Director of an approved State may specify an appropriate alternative frequency for repeated sampling and analysis for appendix I constituents, or the alternative list approved in accordance with paragraph (a)(2) of this section, during the active life (including closure) and the post-closure care period. The alternative frequency during the active life (including closure) shall be no less than annual. The alternative frequency shall be based on consideration of the following factors:

- (1) Lithology of the aquifer and unsaturated zone;
- (2) Hydraulic conductivity of the aquifer and unsaturated zone;
- (3) Ground-water flow rates;
- (4) Minimum distance between upgradient edge of the MSWLF unit and downgradient monitoring well screen (minimum distance of travel); and
- (5) Resource value of the aquifer.

(c) If the owner or operator determines, pursuant to § 258.53(g) of this part, that there is a statistically significant increase over background for one or more of the constituents listed in appendix I to this part or in the alternative list approved in accordance with paragraph (a)(2) of this section, at any monitoring well at the boundary specified under § 258.51(a)(2), the owner or operator:

- (1) Must, within 14 days of this finding, place a notice in the operating record indicating which constituents have shown statistically significant changes from background levels, and notify the State director that this notice was placed in the operating record; and

(2) Must establish an assessment monitoring program meeting the requirements of § 258.55 of this part within 90 days except as provided for in paragraph (c)(3) of this section.

(3) The owner/operator may demonstrate that a source other than a MSWLF unit caused the contamination or that the statistically significant increase resulted from error in sampling, analysis, statistical evaluation, or natural variation in ground-water quality. A report documenting this demonstration must be certified by a qualified ground-water scientist or approved by the Director of an approved State and be placed in the operating record. If a successful demonstration is made and documented, the owner or operator may continue detection monitoring as specified in this section. If, after 90 days, a successful demonstration is not made, the owner or operator must initiate an

assessment monitoring program as required in § 258.55.

§ 258.55 Assessment monitoring program.

(a) Assessment monitoring is required whenever a statistically significant increase over background has been detected for one or more of the constituents listed in the appendix I to this part or in the alternative list approved in accordance with § 258.54(a)(2).

(b) Within 90 days of triggering an assessment monitoring program, and annually thereafter, the owner or operator must sample and analyze the ground water for all constituents identified in appendix II to this part. A minimum of one sample from each downgradient well must be collected and analyzed during each sampling event. For any constituent detected in the downgradient wells as a result of the complete appendix II analysis, a minimum of four independent samples from each well (background and downgradient) must be collected and analyzed to establish background for the constituents. The Director of an approved State may specify an appropriate subset of wells to be sampled and analyzed for appendix II constituents during assessment monitoring. The Director of an approved State may delete any of the appendix II monitoring parameters for a MSWLF unit if it can be shown that the removed constituents are not reasonably expected to be in or derived from the waste contained in the unit.

(c) The Director of an approved State may specify an appropriate alternate frequency for repeated sampling and analysis for the full set of appendix II constituents required by § 258.55(b) of this part, during the active life (including closure) and post-closure care of the unit considering the following factors:

- (1) Lithology of the aquifer and unsaturated zone;
- (2) Hydraulic conductivity of the aquifer and unsaturated zone;
- (3) Ground-water flow rates;
- (4) Minimum distance between upgradient edge of the MSWLF unit and downgradient monitoring well screen (minimum distance of travel);
- (5) Resource value of the aquifer; and
- (6) Nature (fate and transport) of any constituents detected in response to this section.

(d) After obtaining the results from the initial or subsequent sampling events required in paragraph (b) of this section, the owner or operator must:

- (1) Within 14 days, place a notice in the operating record identifying the appendix II constituents that have been detected and notify the State Director that this notice has been placed in the operating record;

(2) Within 90 days, and on at least a semiannual basis thereafter, resample all wells specified by § 258.51(a), conduct analyses for all constituents in appendix I to this part or in the alternative list approved in accordance with § 258.54(a)(2), and for those constituents in appendix II to this part that are detected in response to paragraph (b) of this section, and record their concentrations in the facility operating record. At least one sample from each well (background and downgradient) must be collected and analyzed during these sampling events. The Director of an approved State may specify an alternative monitoring frequency during the active life (including closure) and the post-closure period for the constituents referred to in this paragraph. The alternative frequency for appendix I constituents, or the alternative list approved in accordance with § 258.54(a)(2), during the active life (including closure) shall be no less than annual. The alternative frequency shall be based on consideration of the factors specified in paragraph (c) of this section.

(3) Establish background concentrations for any constituents detected pursuant to paragraph (b) or (d)(2) of this section; and

(4) Establish ground-water protection standards for all constituents detected pursuant to paragraph (b) or (d) of this section. The ground-water protection standards shall be established in accordance with paragraphs (h) or (i) of this section.

(e) If the concentrations of all appendix II constituents are shown to be at or below background values, using the statistical procedures in § 258.53(g), for two consecutive sampling events, the owner or operator must notify the State Director of this finding and may return to detection monitoring.

(f) If the concentrations of any appendix II constituents are above background values, but all concentrations are below the ground-water protection standard established under paragraphs (h) or (i) of this section, using the statistical procedures in § 258.53(g), the owner or operator must continue assessment monitoring in accordance with this section.

(g) If one or more appendix II constituents are detected at statistically significant levels above the ground-water protection standard established under paragraphs (h) or (i) of this section in any sampling event, the owner or operator must, within 14 days of this finding, place a notice in the operating record identifying the appendix II constituents that have exceeded the ground-water protection standard and notify the State Director and all appropriate local government officials that the notice has been placed in the operating record. The owner or operator also:

(1)(i) Must characterize the nature and extent of the release by installing additional monitoring wells as necessary;

(ii) Must install at least one additional monitoring well at the facility boundary in the direction of contaminant migration and sample this well in accordance with § 258.55(d)(2);

(iii) Must notify all persons who own the land or reside on the land that directly overlies any part of the plume of contamination if contaminants have migrated off-site if indicated by sampling of wells in accordance with § 258.55 (g)(1); and

(iv) Must initiate an assessment of corrective measures as required by § 255.56 of this part within 90 days; or

(2) May demonstrate that a source other than a MSWLF unit caused the contamination, or that the SSI increase resulted from error in sampling, analysis, statistical evaluation, or natural variation in ground-water quality. A report documenting this demonstration must be certified by a qualified ground-water scientist or approved by the Director of an approved State and placed in the operating record. If a successful demonstration is made the owner or operator must continue monitoring in accordance with the assessment monitoring program pursuant to § 258.55, and may return to detection monitoring if the appendix II constituents are at or below background as specified in § 258.55(e). Until a successful demonstration is made, the owner or operator must comply with § 258.55(g) including initiating an assessment of corrective measures.

(h) The owner or operator must establish a ground-water protection standard for each appendix II constituent detected in the ground-water. The ground-water protection standard shall be:

(1) For constituents for which a maximum contaminant level (MCL) has been promulgated under section 1412 of the Safe Drinking Water Act (codified) under 40 CFR part 141, the MCL for that constituent;

(2) For constituents for which MCLs have not been promulgated, the background concentration for the constituent established from wells in accordance with § 258.51(a)(1); or

(3) For constituents for which the background level is higher than the MCL identified under paragraph (h)(1) of this section or health based levels identified under § 258.55(i)(1), the background concentration.

(i) The Director of an approved State may establish an alternative ground-water protection standard for constituents for which MCLs have not been established. These ground-water protection standards shall be appropriate health based levels that satisfy the following criteria:

(1) The level is derived in a manner consistent with Agency guidelines for assessing the health

§ 258.56

risks of environmental pollutants (51 FR 3392, 3406, 3414, 3428, Sept. 24, 1986).

(2) The level is based on scientifically valid studies conducted in accordance with the Toxic Substances Control Act Good Laboratory Practice Standards (40 CFR part 792) or equivalent.

(3) For carcinogens, the level represents a concentration associated with an excess lifetime cancer risk level (due to continuous lifetime exposure) with the 1×10^{-4} to 1×10^{-6} range; and

(4) For systemic toxicants, the level represents a concentration to which the human population (including sensitive subgroups) could be exposed to on a daily basis that is likely to be without appreciable risk of deleterious effects during a lifetime. For purposes of this subpart, systemic toxicants include toxic chemicals that cause effects other than cancer or mutation.

(j) In establishing ground-water protection standards under paragraph (i) of this section, the Director of an approved State may consider the following:

- (1) Multiple contaminants in the ground water;
- (2) Exposure threats to sensitive environmental receptors; and
- (3) Other site-specific exposure or potential exposure to ground water.

§ 258.56 Assessment of corrective measures.

(a) Within 90 days of finding that any of the constituents listed in appendix II to this part have been detected at a statistically significant level exceeding the ground-water protection standards defined under § 258.55 (h) or (i) of this part, the owner or operator must initiate an assessment of corrective measures. Such an assessment must be completed within a reasonable period of time.

(b) The owner or operator must continue to monitor in accordance with the assessment monitoring program as specified in § 258.55.

(c) The assessment shall include an analysis of the effectiveness of potential corrective measures in meeting all of the requirements and objectives of the remedy as described under § 258.57, addressing at least the following:

(1) The performance, reliability, ease of implementation, and potential impacts of appropriate potential remedies, including safety impacts, cross-media impacts, and control of exposure to any residual contamination;

(2) The time required to begin and complete the remedy;

(3) The costs of remedy implementation; and

(4) The institutional requirements such as State or local permit requirements or other environmental or public health requirements that may substantially affect implementation of the remedy(s).

(d) The owner or operator must discuss the results of the corrective measures assessment, prior to the selection of remedy, in a public meeting with interested and affected parties.

§ 258.57 Selection of remedy.

(a) Based on the results of the corrective measures assessment conducted under § 258.56, the owner or operator must select a remedy that, at a minimum, meets the standards listed in paragraph (b) of this section. The owner or operator must notify the State Director, within 14 days of selecting a remedy, a report describing the selected remedy has been placed in the operating record and how it meets the standards in paragraph (b) of this section.

(b) Remedies must:

(1) Be protective of human health and the environment;

(2) Attain the ground-water protection standard as specified pursuant to §§ 258.55 (h) or (i);

(3) Control the source(s) of releases so as to reduce or eliminate, to the maximum extent practicable, further releases of appendix II constituents into the environment that may pose a threat to human health or the environment; and

(4) Comply with standards for management of wastes as specified in § 258.58(d).

(c) In selecting a remedy that meets the standards of § 258.57(b), the owner or operator shall consider the following evaluation factors:

(1) The long- and short-term effectiveness and protectiveness of the potential remedy(s), along with the degree of certainty that the remedy will prove successful based on consideration of the following:

(i) Magnitude of reduction of existing risks;

(ii) Magnitude of residual risks in terms of likelihood of further releases due to waste remaining following implementation of a remedy;

(iii) The type and degree of long-term management required, including monitoring, operation, and maintenance;

(iv) Short-term risks that might be posed to the community, workers, or the environment during implementation of such a remedy, including potential threats to human health and the environment associated with excavation, transportation, and redispersion of containment;

(v) Time until full protection is achieved;

(vi) Potential for exposure of humans and environmental receptors to remaining wastes, considering the potential threat to human health and the environment associated with excavation, transportation, redispersion, or containment;

(vii) Long-term reliability of the engineering and institutional controls; and

(viii) Potential need for replacement of the remedy.

(2) The effectiveness of the remedy in controlling the source to reduce further releases based on consideration of the following factors:

(i) The extent to which containment practices will reduce further releases;

(ii) The extent to which treatment technologies may be used.

(3) The ease or difficulty of implementing a potential remedy(s) based on consideration of the following types of factors:

(i) Degree of difficulty associated with constructing the technology;

(ii) Expected operational reliability of the technologies;

(iii) Need to coordinate with and obtain necessary approvals and permits from other agencies;

(iv) Availability of necessary equipment and specialists; and

(v) Available capacity and location of needed treatment, storage, and disposal services.

(4) Practicable capability of the owner or operator, including a consideration of the technical and economic capability.

(5) The degree to which community concerns are addressed by a potential remedy(s).

(d) The owner or operator shall specify as part of the selected remedy a schedule(s) for initiating and completing remedial activities. Such a schedule must require the initiation of remedial activities within a reasonable period of time taking into consideration the factors set forth in paragraphs (d) (1) (8) of this section. The owner or operator must consider the following factors in determining the schedule of remedial activities:

(1) Extent and nature of contamination;

(2) Practical capabilities of remedial technologies in achieving compliance with ground-water protection standards established under § 258.55 (g) or (h) and other objectives of the remedy;

(3) Availability of treatment or disposal capacity for wastes managed during implementation of the remedy;

(4) Desirability of utilizing technologies that are not currently available, but which may offer significant advantages over already available technologies in terms of effectiveness, reliability, safety, or ability to achieve remedial objectives;

(5) Potential risks to human health and the environment from exposure to contamination prior to completion of the remedy;

(6) Resource value of the aquifer including:

(i) Current and future uses;

(ii) Proximity and withdrawal rate of users;

(iii) Ground-water quantity and quality;

(iv) The potential damage to wildlife, crops, vegetation, and physical structures caused by exposure to waste constituent;

(v) The hydrogeologic characteristic of the facility and surrounding land;

(vi) Ground-water removal and treatment costs, and

(vii) The cost and availability of alternative water supplies.

(7) Practicable capability of the owner or operator.

(8) Other relevant factors.

(e) The Director of an approved State may determine that remediation of a release of an appendix II constituent from a MSWLF unit is not necessary if the owner or operator demonstrates to the satisfaction of the Director of the approved State that:

(1) The ground-water is additionally contaminated by substances that have originated from a source other than a MSWLF unit and those substances are present in concentrations such that cleanup of the release from the MSWLF unit would provide no significant reduction in risk to actual or potential receptors; or

(2) The constituent(s) is present in ground water that:

(i) Is not currently or reasonably expected to be a source of drinking water; and

(ii) Is not hydraulically connected with waters to which the hazardous constituents are migrating or are likely to migrate in a concentration(s) that would exceed the ground-water protection standards established under § 258.55 (h) or (i); or

(3) Remediation of the release(s) is technically impracticable; or

(4) Remediation results in unacceptable cross-media impacts.

(f) A determination by the Director of an approved State pursuant to paragraph (e) of this section shall not affect the authority of the State to require the owner or operator to undertake source control measures or other measures that may be necessary to eliminate or minimize further releases to the ground-water, to prevent exposure to the ground-water, or to remediate the ground-water to concentrations that are technically practicable and significantly reduce threats to human health or the environment.

§ 258.58 Implementntion of the corrective action program.

(a) Based on the schedule established under § 258.57(d) for initiation and completion of remedial activities the owner/operator must:

(1) Establish and implement a corrective action ground-water monitoring program that:

(i) At a minimum, meet the requirements of an assessment monitoring program under § 258.55;

(ii) Indicate the effectiveness of the corrective action remedy; and

§ 258.58

(iii) Demonstrate compliance with ground-water protection standard pursuant to paragraph (c) of this section.

(2) Implement the corrective action remedy selected under § 258.57; and

(3) Take any interim measures necessary to ensure the protection of human health and the environment. Interim measures should, to the greatest extent practicable, be consistent with the objectives of and contribute to the performance of any remedy that may be required pursuant to § 258.57. The following factors must be considered by an owner or operator in determining whether interim measures are necessary:

(i) Time required to develop and implement a final remedy;

(ii) Actual or potential exposure of nearby populations or environmental receptors to hazardous constituents;

(iii) Actual or potential contamination of drinking water supplies or sensitive ecosystems;

(iv) Further degradation of the ground-water that may occur if remedial action is not initiated expeditiously;

(v) Weather conditions that may cause hazardous constituents to migrate or be released;

(vi) Risks of fire or explosion, or potential for exposure to hazardous constituents as a result of an accident or failure of a container or handling system; and

(vii) Other situations that may pose threats to human health and the environment.

(b) An owner or operator may determine, based on information developed after implementation of the remedy has begun or other information, that compliance with requirements of § 258.57(h) are not being achieved through the remedy selected. In such cases, the owner or operator must implement other methods or techniques that could practicably achieve compliance with the requirements, unless the owner or operator makes the determination under § 258.58(e).

(c) If the owner or operator determines that compliance with requirements under § 258.57(b) cannot be practically achieved with any currently available methods, the owner or operator must:

(1) Obtain certification of a qualified ground-water scientist or approval by the Director of an approved State that compliance with requirements under § 258.57(b) cannot be practically achieved with any currently available methods;

(2) Implement alternate measures to control exposure of humans or the environment to residual contamination, as necessary to protect human health and the environment; and

(3) Implement alternate measures for control of the sources of contamination, or for removal or decontamination of equipment, units, devices, or structures that are:

(i) Technically practicable; and

(ii) Consistent with the overall objective of the remedy.

(4) Notify the State Director within 14 days that a report justifying the alternative measures prior to implementing the alternative measures has been placed in the operating record.

(d) All solid wastes that are managed pursuant to a remedy required under § 258.57, or an interim measure required under § 258.58(a)(3), shall be managed in a manner:

(1) That is protective of human health and the environment; and

(2) That complies with applicable RCRA requirements.

(e) Remedies selected pursuant to § 258.57 shall be considered complete when:

(1) The owner or operator complies with the ground-water protection standards established under §§ 258.55(h) or (i) at all points within the plume of contamination that lie beyond the ground-water monitoring well system established under § 258.51(a).

(2) Compliance with the ground-water protection standards established under §§ 258.55(h) or (i) has been achieved by demonstrating that concentrations of appendix II constituents have not exceeded the ground-water protection standard(s) for a period of three consecutive years using the statistical procedures and performance standards in § 258.53(g) and (h). The Director of an approved State may specify an alternative length of time during which the owner or operator must demonstrate that concentrations of appendix II constituents have not exceeded the ground-water protection standard(s) taking into consideration:

(i) Extent and concentration of the release(s);

(ii) Behavior characteristics of the hazardous constituents in the ground-water;

(iii) Accuracy of monitoring or modeling techniques, including any seasonal, meteorological, or other environmental variabilities that may affect the accuracy; and

(iv) Characteristics of the ground-water.

(3) All actions required to complete the remedy have been satisfied.

(f) Upon completion of the remedy, the owner or operator must notify the State Director within 14 days that a certification that the remedy has been completed in compliance with the requirements of § 258.58(e) has been placed in the operating record. The certification must be signed by the owner or operator and by a qualified ground-water scientist or approved by the Director of an approved State.

(g) When, upon completion of the certification, the owner or operator determines that the corrective action remedy has been completed in accordance with the requirements under paragraph (c) of

this section, the owner or operator shall be released from the requirements for financial assurance for corrective action under § 258.73.

§ 258.59 [Reserved]

Subpart F—Closure And Post-Closure Care

§ 258.60 Closure criteria.

(a) Owners or operators of all MSWLF units must install a final cover system that is designed to minimize infiltration and erosion. The final cover system must be designed and constructed to:

- (1) Have a permeability less than or equal to the permeability of any bottom liner system or natural subsoils present, or a permeability no greater than 1×10^{-5} cm/sec, whichever is less, and
- (2) Minimize infiltration through the closed MSWLF by the use of an infiltration layer that contains a minimum 18-inches of earthen material, and

(3) Minimize erosion of the final cover by the use of an erosion layer that contains a minimum 6-inches of earthen material that is capable of sustaining native plant growth.

(h) The Director of an approved State may approve an alternative final cover design that includes:

- (1) An infiltration layer that achieves an equivalent reduction in infiltration as the infiltration layer specified in paragraphs (a)(1) and (a)(2) of this section, and
- (2) An erosion layer that provides equivalent protection from wind and water erosion as the erosion layer specified in paragraph (a)(3) of this section.

(c) The owner or operator must prepare a written closure plan that describes the steps necessary to close all MSWLF units at any point during their active life in accordance with the cover design requirements in § 258.60(a) or (b), as applicable. The closure plan, at a minimum, must include the following information:

- (1) A description of the final cover, designed in accordance with § 258.60(a) and the methods and procedures to be used to install the cover;
- (2) An estimate of the largest area of the MSWLF unit ever requiring a final cover as required under § 258.60(a) at any time during the active life;
- (3) An estimate of the maximum inventory of wastes ever on-site over the active life of the landfill facility; and
- (4) A schedule for completing all activities necessary to satisfy the closure criteria in § 258.60.

(d) The owner or operator must notify the State Director that a closure plan has been prepared and placed in the operating record no later than the ef-

fective date of this part, or by the initial receipt of waste, whichever is later.

(e) Prior to beginning closure of each MSWLF unit as specified in § 258.60(f), an owner or operator must notify the State Director that a notice of the intent to close the unit has been placed in the operating record.

(f) The owner or operator must begin closure activities of each MSWLF unit no later than 30 days after the date on which the MSWLF unit receives the known final receipt of wastes or, if the MSWLF unit has remaining capacity and there is a reasonable likelihood that the MSWLF unit will receive additional wastes, no later than one year after the most recent receipt of wastes. Extensions beyond the one-year deadline for beginning closure may be granted by the Director of an approved State if the owner or operator demonstrates that the MSWLF unit has the capacity to receive additional wastes and the owner or operator has taken and will continue to take all steps necessary to prevent threats to human health and the environment from the inclosed MSWLF unit.

(g) The owner or operator of all MSWLF units must complete closure activities of each MSWLF unit in accordance with the closure plan within 180 days following the beginning of closure as specified in paragraph (f) of this section. Extensions of the closure period may be granted by the Director of an approved State if the owner or operator demonstrates that closure will, of necessity, take longer than 180 days and he has taken and will continue to take all steps to prevent threats to human health and the environment from the inclosed MSWLF unit.

(h) Following closure of each MSWLF unit, the owner or operator must notify the State Director that a certification, signed by an independent registered professional engineer or approved by Director of an approved State, verifying that closure has been completed in accordance with the closure plan, has been placed in the operating record.

(i) (1) Following closure of all MSWLF units, the owner or operator must record a notation on the deed to the landfill facility property, or some other instrument that is normally examined during title search, and notify the State Director that the notation has been recorded and a copy has been placed in the operating record.

(2) The notation on the deed must in perpetuity notify any potential purchaser of the property that:

- (i) The land has been used as a landfill facility; and
- (ii) Its use is restricted under § 258.61(c)(3).

(j) The owner or operator may request permission from the Director of an approved State to re-

§ 258.61

move the notation from the deed if all wastes are removed from the facility.

[56 FR 51016, Oct. 9, 1991; 57 FR 28628, June 26, 1992]

§ 258.61 Post-closure care requirements.

(a) Following closure of each MSWLF unit, the owner or operator must conduct post-closure care. Post-closure care must be conducted for 30 years, except as provided under paragraph (b) of this section, and consist of at least the following:

(1) Maintaining the integrity and effectiveness of any final cover, including making repairs to the cover as necessary to correct the effects of settlement, subsidence, erosion, or other events, and preventing run-on and run-off from eroding or otherwise damaging the final cover;

(2) Maintaining and operating the leachate collection system in accordance with the requirements in § 258.40, if applicable. The Director of an approved State may allow the owner or operator to stop managing leachate if the owner or operator demonstrates that leachate no longer poses a threat to human health and the environment;

(3) Monitoring the ground water in accordance with the requirements of subpart E of this part and maintaining the ground-water monitoring system, if applicable; and

(4) Maintaining and operating the gas monitoring system in accordance with the requirements of § 258.23.

(b) The length of the post-closure care period may be:

(1) Decreased by the Director of an approved State if the owner or operator demonstrates that the reduced period is sufficient to protect human health and the environment and this demonstration is approved by the Director of an approved State; or

(2) Increased by the Director of an approved State if the Director of an approved State determines that the lengthened period is necessary to protect human health and the environment.

(c) The owner or operator of all MSWLF units must prepare a written post-closure plan that includes, at a minimum, the following information:

(1) A description of the monitoring and maintenance activities required in § 258.61(a) for each MSWLF unit, and the frequency at which these activities will be performed;

(2) Name, address, and telephone number of the person or office to contact about the facility during the post-closure period; and

(3) A description of the planned uses of the property during the post-closure period. Post-closure use of the property shall not disturb the integrity of the final cover, liner(s), or any other components of the containment system, or the function

of the monitoring systems unless necessary to comply with the requirements in this part 258. The Director of an approved State may approve any other disturbance if the owner or operator demonstrates that disturbance of the final cover, liner or other component of the containment system, including any removal of waste, will not increase the potential threat to human health or the environment.

(d) The owner or operator must notify the State Director that a post-closure plan has been prepared and placed in the operating record no later than the effective date of this part, October 9, 1993, or by the initial receipt of waste, whichever is later.

(e) Following completion of the post-closure care period for each MSWLF unit, the owner or operator must notify the State Director that a certification, signed by an independent registered professional engineer or approved by the Director of an approved State, verifying that post-closure care has been completed in accordance with the post-closure plan, has been placed in the operating record.

[56 FR 51016, Oct. 9, 1991; 57 FR 28628, June 26, 1992]

§§ 258.62–258.69 [Reserved]

Subpart G—Financial Assurance Criteria

SOURCE: 56 FR 51029, Oct. 9, 1991, unless otherwise noted.

EFFECTIVE DATE NOTE: At 56 FR 51029, Oct. 9, 1991, subpart G of part 258 was added, effective April 9, 1994. At 58 FR 51547, Oct. 1, 1993, the effective date was delayed until April 9, 1995. At 60 FR 17649, Apr. 7, 1995, the effective date was further delayed until April 9, 1997.

§ 258.70 Applicability and effective date.

(a) The requirements of this section apply to owners and operators of all MSWLF units, except owners or operators who are State or Federal government entities whose debts and liabilities are the debts and liabilities of a State or the United States.

(b) The requirements of this section are effective April 9, 1995, except for MSWLF units meeting the conditions of § 258.10(f)(1), in which case the effective date is October 9, 1995.

[56 FR 51029, Oct. 9, 1991, as amended at 58 FR 51547, Oct. 1, 1993; 60 FR 17652, Apr. 7, 1995]

EFFECTIVE DATE NOTE: At 58 FR 51547, Oct. 1, 1993 in § 258.70, paragraph (b) was revised, effective April 9, 1995. At 60 FR 17652, Apr. 7, 1995, the effective date was further delayed until April 7, 1997. For the convenience of the reader, the revised text is set forth below.

§258.70 Applicability and effective date.

(b) The requirements of this section are effective April 9, 1997.

§258.71 Financial assurance for closure.

(a) The owner or operator must have a detailed written estimate, in current dollars, of the cost of hiring a third party to close the largest area of all MSWLF units ever requiring a final cover as required under §258.60 at any time during the active life in accordance with the closure plan. The owner or operator must notify the State Director that the estimate has been placed in the operating record.

(1) The cost estimate must equal the cost of closing the largest area of all MSWLF unit ever requiring a final cover at any time during the active life when the extent and manner of its operation would make closure the most expensive, as indicated by its closure plan (see §258.60(c)(2) of this part).

(2) During the active life of the MSWLF unit, the owner or operator must annually adjust the closure cost estimate for inflation.

(3) The owner or operator must increase the closure cost estimate and the amount of financial assurance provided under paragraph (b) of this section if changes to the closure plan or MSWLF unit conditions increase the maximum cost of closure at any time during the remaining active life.

(4) The owner or operator may reduce the closure cost estimate and the amount of financial assurance provided under paragraph (b) of this section if the cost estimate exceeds the maximum cost of closure at any time during the remaining life of the MSWLF unit. The owner or operator must notify the State Director that the justification for the reduction of the closure cost estimate and the amount of financial assurance has been placed in the operating record.

(b) The owner or operator of each MSWLF unit must establish financial assurance for closure of the MSWLF unit in compliance with §258.74. The owner or operator must provide continuous coverage for closure until released from financial assurance requirements by demonstrating compliance with §258.60 (b) and (i).

[56 FR 51029, Oct. 9, 1991; 57 FR 28628, June 26, 1992]

§258.72 Financial assurance for post-closure care.

(a) The owner or operator must have a detailed written estimate, in current dollars, of the cost of hiring a third party to conduct post-closure care for the MSWLF unit in compliance with the post-

closure plan developed under §258.61 of this part. The post-closure cost estimate used to demonstrate financial assurance in paragraph (b) of this section must account for the total costs of conducting post-closure care, including annual and periodic costs as described in the post-closure plan over the entire post-closure care period. The owner or operator must notify the State Director that the estimate has been placed in the operating record.

(1) The cost estimate for post-closure care must be based on the most expensive costs of post-closure care during the post-closure care period.

(2) During the active life of the MSWLF unit and during the post-closure care period, the owner or operator must annually adjust the post-closure cost estimate for inflation.

(3) The owner or operator must increase the post-closure care cost estimate and the amount of financial assurance provided under paragraph (b) of this section if changes in the post-closure plan or MSWLF unit conditions increase the maximum costs of post-closure care.

(4) The owner or operator may reduce the post-closure cost estimate and the amount of financial assurance provided under paragraph (b) of this section if the cost estimate exceeds the maximum costs of post-closure care remaining over the post-closure care period. The owner or operator must notify the State Director that the justification for the reduction of the post-closure cost estimate and the amount of financial assurance has been placed in the operating record.

(b) The owner or operator of each MSWLF unit must establish, in a manner in accordance with §258.74, financial assurance for the costs of post-closure care as required under §258.61 of this part. The owner or operator must provide continuous coverage for post-closure care until released from financial assurance requirements for post-closure care by demonstrating compliance with §258.61(e).

§258.73 Financial assurance for corrective action.

(a) An owner or operator of a MSWLF unit required to undertake a corrective action program under §258.58 of this part must have a detailed written estimate, in current dollars, of the cost of hiring a third party to perform the corrective action in accordance with the program required under §258.58 of this part. The corrective action cost estimate must account for the total costs of corrective action activities as described in the corrective action plan for the entire corrective action period. The owner or operator must notify the State Director that the estimate has been placed in the operating record.

(1) The owner or operator must annually adjust the estimate for inflation until the corrective action

§ 258.74

program is completed in accordance with § 258.58(f) of this part.

(2) The owner or operator must increase the corrective action cost estimate and the amount of financial assurance provided under paragraph (b) of this section if changes in the corrective action program or MSWLF unit conditions increase the maximum costs of corrective action.

(3) The owner or operator may reduce the amount of the corrective action cost estimate and the amount of financial assurance provided under paragraph (b) of this section if the cost estimate exceeds the maximum remaining costs of corrective action. The owner or operator must notify the State Director that the justification for the reduction of the corrective action cost estimate and the amount of financial assurance has been placed in the operating record.

(h) The owner or operator of each MSWLF unit required to undertake a corrective action program under § 258.58 of this part must establish, in a manner in accordance with § 258.74, financial assurance for the most recent corrective action program. The owner or operator must provide continuous coverage for corrective action until released from financial assurance requirements for corrective action by demonstrating compliance with § 258.58 (f) and (g).

§ 258.74 Allowable mechanisms.

The mechanisms used to demonstrate financial assurance under this section must ensure that the funds necessary to meet the costs of closure, post-closure care, and corrective action for known releases will be available whenever they are needed. Owners and operators must choose from the options specified in paragraphs (a) through (j) of this section.

(a) *Trust Fund.* (1) An owner or operator may satisfy the requirements of this section by establishing a trust fund which conforms to the requirements of this paragraph. The trustee must be an entity which has the authority to act as a trustee and whose trust operations are regulated and examined by a Federal or State agency. A copy of the trust agreement must be placed in the facility's operating record.

(2) Payments into the trust fund must be made annually by the owner or operator over the term of the initial permit or over the remaining life of the MSWLF unit, whichever is shorter, in the case of a trust fund for closure or post-closure care, or over one-half of the estimated length of the corrective action program in the case of corrective action for known releases. This period is referred to as the pay-in period.

(3) For a trust fund used to demonstrate financial assurance for closure and post-closure care, the first payment into the fund must be at least

equal to the current cost estimate for closure or post-closure care, except as provided in paragraph (j) of this section, divided by the number of years in the pay-in period as defined in paragraph (a)(2) of this section. The amount of subsequent payments must be determined by the following formula:

$$\text{Next Payment} = \frac{CE - CV}{Y}$$

where CE is the current cost estimate for closure or post-closure care (updated for inflation or other changes), CV is the current value of the trust fund, and Y is the number of years remaining in the pay-in period.

(4) For a trust fund used to demonstrate financial assurance for corrective action, the first payment into the trust fund must be at least equal to one-half of the current cost estimate for corrective action, except as provided in paragraph (j) of this section, divided by the number of years in the corrective action pay-in period as defined in paragraph (a)(2) of this section. The amount of subsequent payments must be determined by the following formula:

$$\text{Next Payment} = \frac{RB - CV}{Y}$$

where RB is the most recent estimate of the required trust fund balance for corrective action (i.e., the total costs that will be incurred during the second half of the corrective action period), CV is the current value of the trust fund, and Y is the number of years remaining on the pay-in period.

(5) The initial payment into the trust fund must be made before the initial receipt of waste or before the effective date the requirements of this section (April 9, 1995, or October 9, 1995 for MSWLF units meeting the conditions of § 258.1(f)(1)), whichever is later, in the case of closure and post-closure care, or no later than 120 days after the corrective action remedy has been selected in accordance with the requirements of § 258.58.

(6) If the owner or operator establishes a trust fund after having used one or more alternate mechanisms specified in this section, the initial payment into the trust fund must be at least the amount that the fund would contain if the trust fund were established initially and annual payments made according to the specifications of this paragraph and § 270.74(a) of this section, as applicable.

(7) The owner or operator, or other person authorized to conduct closure, post-closure care, or

corrective action activities may request reimbursement from the trustee for these expenditures. Requests for reimbursement will be granted by the trustee only if sufficient funds are remaining in the trust fund to cover the remaining costs of closure, post-closure care, or corrective action, and if justification and documentation of the cost is placed in the operating record. The owner or operator must notify the State Director that the documentation of the justification for reimbursement has been placed in the operating record and that reimbursement has been received.

(8) The trust fund may be terminated by the owner or operator only if the owner or operator substitutes alternate financial assurance as specified in this section or if he is no longer required to demonstrate financial responsibility in accordance with the requirements of §§258.71(b), 258.72(b), or 258.73(b).

(b) *Surety Bond Guaranteeing Payment or Performance.* (1) An owner or operator may demonstrate financial assurance for closure or post-closure care by obtaining a payment or performance surety bond which conforms to the requirements of this paragraph. An owner or operator may demonstrate financial assurance for corrective action by obtaining a performance bond which conforms to the requirements of this paragraph. The bond must be effective before the initial receipt of waste or before the effective date of the requirements of this section (April 9, 1995, or October 9, 1995 for MSWLF units meeting the conditions of §258.1(f)(1)), whichever is later, in the case of closure and post-closure care, or no later than 120 days after the corrective action remedy has been selected in accordance with the requirements of §258.58. The owner or operator must notify the State Director that a copy of the bond has been placed in the operating record. The surety company issuing the bond must, at a minimum, be among those listed as acceptable sureties on Federal bonds in Circular 570 of the U.S. Department of the Treasury.

(2) The penal sum of the bond must be in an amount at least equal to the current closure, post-closure care or corrective action cost estimate, whichever is applicable, except as provided in §258.74(k).

(3) Under the terms of the bond, the surety will become liable on the bond obligation when the owner or operator fails to perform as guaranteed by the bond.

(4) The owner or operator must establish a standby trust fund. The standby trust fund must meet the requirements of §258.74(a) except the requirements for initial payment and subsequent annual payments specified in §258.74 (a)(2), (3), (4) and (5).

(5) Payments made under the terms of the bond will be deposited by the surety directly into the standby trust fund. Payments from the trust fund must be approved by the trustee.

(6) Under the terms of the bond, the surety may cancel the bond by sending notice of cancellation by certified mail to the owner and operator and to the State Director 120 days in advance of cancellation. If the surety cancels the bond, the owner or operator must obtain alternate financial assurance as specified in this section.

(7) The owner or operator may cancel the bond only if alternate financial assurance is substituted as specified in this section or if the owner or operator is no longer required to demonstrate financial responsibility in accordance with §258.71(b), 258.72(b) or 258.73(b).

(c) *Letter of Credit.* (1) An owner or operator may satisfy the requirements of this section by obtaining an irrevocable standby letter of credit which conforms to the requirements of this paragraph. The letter of credit must be effective before the initial receipt of waste or before the effective date of the requirements of this section (April 9, 1995, or October 9, 1995 for MSWLF units meeting the conditions of §258.1(f)(1)), whichever is later, in the case of closure and post-closure care, or no later than 120 days after the corrective action remedy has been selected in accordance with the requirements of §258.58. The owner or operator must notify the State Director that a copy of the letter of credit has been placed in the operating record. The issuing institution must be an entity which has the authority to issue letters of credit and whose letter-of-credit operations are regulated and examined by a Federal or State agency.

(2) A letter from the owner or operator referring to the letter of credit by number, issuing institution, and date, and providing the following information: Name, and address of the facility, and the amount of funds assured, must be included with the letter of credit in the operating record.

(3) The letter of credit must be irrevocable and issued for a period of at least one year in an amount at least equal to the current cost estimate for closure, post-closure care or corrective action, whichever is applicable, except as provided in §258.74(a). The letter of credit must provide that the expiration date will be automatically extended for a period of at least one year unless the issuing institution has cancelled the letter of credit by sending notice of cancellation by certified mail to the owner and operator and to the State Director 120 days in advance of cancellation. If the letter of credit is cancelled by the issuing institution, the owner or operator must obtain alternate financial assurance.

(4) The owner or operator may cancel the letter of credit only if alternate financial assurance is

§ 258.74

substituted as specified in this section or if the owner or operator is released from the requirements of this section in accordance with § 258.71(b), § 258.72(b) or § 258.73(b).

(d) *Insurance.* (1) An owner or operator may demonstrate financial assurance for closure and post-closure care by obtaining insurance which conforms to the requirements of this paragraph. The insurance must be effective before the initial receipt of waste or before the effective date of the requirements of this section (April 9, 1995, or October 9, 1995 for MSWLF units meeting the conditions of § 258.10(1)), whichever is later, in the case of closure and post-closure care, or no later than 120 days after the corrective action remedy has been selected in accordance with the requirements of § 258.58. At a minimum, the insurer must be licensed to transact the business of insurance, or eligible to provide insurance as an excess or surplus lines insurer, in one or more States. The owner or operator must notify the State Director that a copy of the insurance policy has been placed in the operating record.

(2) The closure or post-closure care insurance policy must guarantee that funds will be available to close the MSWLF unit whenever final closure occurs or to provide post-closure care for the MSWLF unit whenever the post-closure care period begins, whichever is applicable. The policy must also guarantee that once closure or post-closure care begins, the insurer will be responsible for the paying out of funds to the owner or operator or other person authorized to conduct closure or post-closure care, up to an amount equal to the face amount of the policy.

(3) The insurance policy must be issued for a face amount at least equal to the current cost estimate for closure or post-closure care, whichever is applicable, except as provided in § 258.74(a). The term *face amount* means the total amount the insurer is obligated to pay under the policy. Actual payments by the insurer will not change the face amount, although the insurer's future liability will be lowered by the amount of the payments.

(4) An owner or operator, or any other person authorized to conduct closure or post-closure care, may receive reimbursements for closure or post-closure expenditures, whichever is applicable. Requests for reimbursement will be granted by the insurer only if the remaining value of the policy is sufficient to cover the remaining costs of closure or post-closure care, and if justification and documentation of the cost is placed in the operating record. The owner or operator must notify the State Director that the documentation of the justification for reimbursement has been placed in the operating record and that reimbursement has been received.

(5) Each policy must contain a provision allowing assignment of the policy to a successor owner or operator. Such assignment may be conditional upon consent of the insurer, provided that such consent is not unreasonably refused.

(6) The insurance policy must provide that the insurer may not cancel, terminate or fail to renew the policy except for failure to pay the premium. The automatic renewal of the policy must, at a minimum, provide the insured with the option of renewal at the face amount of the expiring policy. If there is a failure to pay the premium, the insurer may cancel the policy by sending notice of cancellation by certified mail to the owner and operator and to the State Director 120 days in advance of cancellation. If the insurer cancels the policy, the owner or operator must obtain alternate financial assurance as specified in this section.

(7) For insurance policies providing coverage for post-closure care, commencing on the date that liability to make payments pursuant to the policy accrues, the insurer will thereafter annually increase the face amount of the policy. Such increase must be equivalent to the face amount of the policy, less any payments made, multiplied by an amount equivalent to 85 percent of the most recent investment rate or of the equivalent coupon-rate yield announced by the U.S. Treasury for 26-week Treasury securities.

(8) The owner or operator may cancel the insurance policy only if alternate financial assurance is substituted as specified in this section or if the owner or operator, is no longer required to demonstrate financial responsibility in accordance with the requirements of § 258.71(b), § 258.72(b) or § 258.73(b).

(c) *Corporate Financial Test.* [Reserved]

(f) *Local Government Financial Test.* [Reserved]

(g) *Corporate Guarantee.* [Reserved]

(h) *Local Government Guarantee.* [Reserved]

(i) *State-Approved Mechanism.* An owner or operator may satisfy the requirements of this section by obtaining any other mechanism that meets the criteria specified in § 258.74(d), and that is approved by the Director of an approved State.

(j) *State Assumption of Responsibility.* If the State Director either assumes legal responsibility for an owner or operator's compliance with the closure, post-closure care and/or corrective action requirements of this part, or assures that the funds will be available from State sources to cover the requirements, the owner or operator will be in compliance with the requirements of this section. Any State assumption of responsibility must meet the criteria specified in § 258.74(l).

(k) *Use of Multiple Financial Mechanisms.* An owner or operator may satisfy the requirements of this section by establishing more than one finan-

cial mechanism per facility. The mechanisms must be as specified in paragraphs (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i), and (j) of this section, except that it is the combination of mechanisms, rather than the single mechanism, which must provide financial assurance for an amount at least equal to the current cost estimate for closure, post-closure care or corrective action, whichever is applicable. The financial test and a guarantee provided by a corporate parent, sibling, or grandparent may not be combined if the financial statements of the two firms are consolidated.

(l) The language of the mechanisms listed in paragraphs (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i), and (j) of this section must ensure that the instruments satisfy the following criteria:

(1) The financial assurance mechanisms must ensure that the amount of funds assured is sufficient to cover the costs of closure, post-closure care, and corrective action for known releases when needed;

(2) The financial assurance mechanisms must ensure that funds will be available in a timely fashion when needed;

(3) The financial assurance mechanisms must be obtained by the owner or operator by the effective date of these requirements or prior to the initial receipt of solid waste, whichever is later, in the case of closure and post-closure care, and no later than 120 days after the corrective action remedy has been selected in accordance with the requirements of § 258.58, until the owner or operator is released from the financial assurance requirements under §§ 258.71, 258.72 and 258.73.

(4) The financial assurance mechanisms must be legally valid, binding, and enforceable under State and Federal law.

[56 FR 51029, Oct. 9, 1991, as amended at 58 FR 51547, Oct. 1, 1993; 60 FR 17652, April 7, 1995]

EFFECTIVE DATE NOTE: At 58 FR 51547, Oct. 1, 1993, in § 258.74, paragraph (a)(5), the third sentence of paragraph (b)(1), the second sentence of (c)(1), and the second sentence of (d)(1) were revised, effective April 9, 1995. At 60 FR 17649, Apr. 7, 1995, the effective date was further delayed until April 9, 1997. For the convenience of the reader, the revised text is set forth below:

§ 258.74 Allowable mechanisms.

(a) * * *

(5) The initial payment into the trust fund must be made before the initial receipt of waste or before the effective date of the requirements of this section (April 9, 1997), whichever is later, in the case of closure and post-closure care, or no later than 120 days after the corrective action remedy has been selected in accordance with the requirements of § 258.58.

(b)(1) * * * The bond must be effective before the initial receipt of waste or before the effective date of the requirements of this section (April 9, 1997), whichever is later, in the case of closure and post-closure care, or no later than 120 days after the corrective action remedy has been selected in accordance with the requirements of § 258.58. * * *

(c)(1) * * * The letter of credit must be effective before the initial receipt of waste or before the effective date of the requirements of this section (April 9, 1997), whichever is later, in the case of closure and post-closure care, or no later than 120 days after the corrective action remedy has been selected in accordance with the requirements of § 258.58. * * *

(d)(1) * * * The insurance must be effective before the initial receipt of waste or before the effective date of the requirements of this section (April 9, 1997), whichever is later, in the case of closure and post-closure care, or no later than 120 days after the corrective action remedy has been selected in accordance with the requirements of § 258.58. * * *

APPENDIX I TO PART 258 - CONSTITUENTS FOR DETECTION MONITORING¹

Common name ²	CAS RN ³
Inorganic Constituents	
(1) Antimony	(Total)
(2) Arsenic	(Total)
(3) Barium	(Total)
(4) Beryllium	(Total)
(5) Cadmium	(Total)
(6) Chromium	(Total)
(7) Cobalt	(Total)
(8) Copper	(Total)
(9) Lead	(Total)
(10) Nickel	(Total)
(11) Selenium	(Total)
(12) Silver	(Total)
(13) Thallium	(Total)
(14) Vanadium	(Total)
(15) Zinc	(Total)
Organic Constituents	
(16) Acetone	67-64-1
(17) Acrylonitrile	107-13-1
(18) Benzene	71-43-2
(19) Bromochloromethane	74-97-5
(20) Bromodichloromethane	75-27-4
(21) Bromoform, Tribromomethane	75-25-2
(22) Carbon disulfide	75-15-0
(23) Carbon tetrachloride	56-23-5
(24) Chlorobenzene	108-90-7
(25) Chloroethane, Ethyl chloride	75-00-3
(26) Chloroform, Trichloromethane	67-66-3
(27) Dibromochloromethane, Chlorodibromomethane	124-48-1
(28) 1,2-Dibromo-3-chloropropane, DBCP	96-12-8
(29) 1,2-Dibromoethane, Ethylene dibromide, EDB	106-93-4

Pt. 258, App. II

Common name ²	CAS RN ¹	Common name ²	CAS RN ¹
(30) o-Dichlorobenzene	106-46-7	(50) Styrene	100-42-5
Dichlorobenzene	95-50-1	(51) 1,1,1,2-Tetrachloroethane	630-20-6
(31) p-Dichlorobenzene	106-46-7	(52) 1,1,2,2-Tetrachloroethane	78-34-5
Dichlorobenzene	110-57-6	(53) Tetrachloroethylene, Tetrachloroethene, Perchloroethylene	127-18-4
(32) trans-1,4-Dichloro-2-butene	75-34-3	(54) Toluene	108-88-3
(33) 1,1-Dichloroethane, Ethylene chloride	107-06-2	(55) 1,1,1-Trichloroethane, Methylchloroform	71-55-6
(34) 1,2-Dichloroethane, Ethylene dichloride	75-35-4	(56) 1,1,2-Trichloroethane	79-00-5
(35) 1,1-Dichloroethylene, 1,1-Dichloroethene, Vinylidene chloride	156-50-2	(57) Trichloroethylene, Trichloroethene	79-01-8
(36) cis-1,2-Dichloroethylene, cis-1,2-Dichloroethene	156-60-5	(58) Trichlorofluoromethane, CFC-11	75-69-4
(37) trans-1,2-Dichloroethylene, trans-1,2-Dichloroethene	156-60-5	(59) 1,2,3-Trichloropropane	96-18-4
(38) 1,2-Dichloropropane, Propylene dichloride	78-87-5	(60) Vinyl acetate	108-05-4
(39) cis-1,3-Dichloropropene	10061-01-5	(61) Vinyl chloride	75-01-4
(40) trans-1,3-Dichloropropene	10061-02-6	(62) Xylenes	1330-20-7
(41) Ethylbenzene	100-41-4		
(42) 2-Hexanone, Methyl butyl ketone	591-78-6		
(43) Methyl bromide, Bromomethane	74-83-9		
(44) Methyl chloride, Chloromethane	74-87-3		
(45) Methylene bromide, Dibromomethane	74-95-3		
(46) Methylene chloride, Dichloromethane	75-09-2		
(47) Methyl ethyl ketone, MEK, 2-Butanone	78-93-3		
(48) Methyl iodide, Iodomethane	74-88-4		
(49) 4-Methyl-2-pentanone, Methyl isobutyl ketone	108-10-1		

¹This list contains 47 volatile organics for which possible analytical procedures provided in EPA Report SW-846 "Test Methods for Evaluating Solid Waste," third edition, November 1988, as revised December 1987, includes Method 8260, and 15 metals for which SW-846 provides either Method 8010 or a method from the 7000 series of methods.

²Common names are those widely used in government regulations, scientific publications, and commerce; synonyms exist for many chemicals.

³Chemical Abstracts Service registry number. Where "Total" is entered, all species in the ground water that contain this element are included.

APPENDIX II TO PART 258—LIST OF HAZARDOUS INORGANIC AND ORGANIC CONSTITUENTS ¹

Common Name ²	CAS RN ¹	Chemical abstracts service index name ⁴	Sug- gested methods ⁵	PQL (µg/L) ⁶
Acenaphthene	83-32-9	Acenaphthylene, 1,2-dihydro	8100 8270	200 10
Acenaphthylene	208-99-8	Acenaphthylene	8100 8270	200 10
Acetone	67-64-1	2-Propanone	8260	100
Acetonitrile, Methyl cyanide	75-05-8	Acetonitrile	8015	100
Acetophenone	98-86-2	Ethanone, 1-phenyl-	8270	10
2-Acetylaminofluorene, 2-AAF	53-93-3	Acetamide, N-(9H-fluoren-2-yl)-	6270	20
Acrolein	107-02-8	2-Propenal	6030 8260	5 100
Acrylonitrile	107-13-1	2-Propenenitrile	8030 8260	5 200
Aldrin	309-00-2	1,4,5,8-Dimethanonaphthalene, 1,2,3,4,10,10-hexachloro-1,4,4a,5,6,8a-hexahydro- (1α,4α,8aβ,5α,6α,8αβ)-	6080 8270	0.05 10
Allyl chloride	107-05-1	1-Propene, 3-chloro-	8010 8260	5 10
4-Aminobiphenyl	82-67-1	[1,1'-Biphenyl]-4-amine	8270	20
Anthracene	120-12-7	Anthracene	8100 8270	200 10
Antimony	(Total)	Antimony	6010 7040 7041	300 2000 50
Arsenic	(Total)	Arsenic	6010 7060 7061	500 10 20

Common Name ¹	CAS RN ²	Chemical abstracts service index name ⁴	Sug- gested methods ⁵	PDL (µg/ L) ⁶
Barium	(Total)	Barium	6010	20
Benzene	71-43-7	Benzene	7080	1000
			8030	2
			8021	0.1
			8280	5
Benzo[<i>a</i>]anthracene, Benzanthracene	56-55-3	Benzo[<i>a</i>]anthracene	8100	200
			8270	10
Benzo[<i>b</i>]fluoranthene	205-99-2	Benzo[<i>e</i>]cycloperanthylene	8100	200
			8270	10
Benzo[<i>k</i>]fluoranthene	207-06-9	Benzo[<i>k</i>]fluoranthene	8100	200
			8270	10
Benzo[<i>ghi</i>]perylene	191-24-2	Benzo[<i>ghi</i>]perylene	8100	200
			8270	10
Benzo[<i>a</i>]pyrene	50-52-8	Benzo[<i>a</i>]pyrene	8100	200
			8270	10
Benzyl alcohol	100-51-6	Benzenemethanol	8270	20
Beryllium	(Total)	Beryllium	8010	3
			7090	50
			7091	2
alpha-BHC	319-64-6	Cyclohexane, 1,2,3,4,5,6-hexachloro- (1 α ,2 α ,3 β ,4 α ,5 β ,6 β)-	8080	0.05
			8270	10
beta-BHC	319-85-7	Cyclohexane, 1,2,3,4,5,6-hexachloro- (1 α ,2 β ,3 α ,4 β ,5 α ,6 β)-	8080	0.05
			8270	20
delta-BHC	319-69-8	Cyclohexane, 1,2,3,4,5,6-hexachloro- (1 α ,2 α ,3 α ,4 β ,5 α ,6 β)-	8080	0.1
			8270	20
gamma-BHC, Lindane	58-86-9	Cyclohexane, 1,2,3,4,5,6-hexachloro- (1 α ,2 α ,3 β ,4 α ,5 α ,6 β)-	8080	0.05
			8270	20
Bis(2-chloroethoxy)methane	111-01-1	Ethane, 1,1'-[methylenebis(oxy)]bis(2- chloro-	8110	5
			8270	10
Bis(2-chloroethyl) ether, Dichloroethyl ether	111-44-4	Ethane, 1,1'-oxybis(2-chloro-	8110	3
			8270	10
Bis(2-chloro-1-methylethyl) ether, 2,2'- Dichlorodisopropyl ether, DClP, See note 7	108-60-1	Propane, 2,2'-oxybis(1-chloro-	8110	10
			8270	10
Bis(2-ethylhexyl) phthalate	117-81-7	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2- ethylhexyl) ester.	8060	20
Bromochloromethane, Chlorobromomethane	74-97-5	Methane, bromochloro-	8021	0.1
			8260	5
Bromodichloromethane, Dibromochloromethane	75-27-4	Methane, bromodichloro-	8010	1
			8021	0.2
			8280	5
Bromoform, Tribromomethane	75-25-2	Methane, tribromo-	8010	2
			8021	15
			8290	5
4-Bromophenyl phenyl ether	101-55-3	Benzene, 1-bromo-4-phenoxy-	8110	25
			8270	10
Butyl benzyl phthalate, Benzyl butyl phthal- ate	85-68-7	1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl phenylmethyl ester.	8060	5
			8270	10
Cadmium	(Total)	Cadmium	6010	40
			7130	50
			7131	1
Carbon disulfide	75-15-0	Carbon disulfide	8260	100
Carbon tetrachloride	56-23-5	Methane, tetrachloro-	8010	1
			8021	0.1
			8260	10
Chlordane	See Note 6	4,7-Methano-1H-indene, 1,2,4,5,6,7,8,8- octachloro-2,3,3a,4,7,7a-hexahydro-	8080	0.1
			8270	50
p-Chloroaniline	100-47-8	Benzenamine, 4-chloro-	8270	20
Chlorobenzene	108-90-7	Benzene, chloro-	8010	2
			8020	2
			8021	0.1
			8260	5
Chlorobenzilate	510-15-6	Benzenecarboxylic acid, 4-chloro- α -(4- chlorophenyl)- α -hydroxy-, ethyl ester	8270	10
p-Chloro-m-cresol, 4-Chloro-3-methylphenol	59-50-7	Phenol, 4-chloro-3-methyl-	6040	5
			8270	20
Chloroethane, Ethyl chloride	75-00-3	Ethane, chloro-	8010	5
			8021	1
			8260	10

Pt. 258, App. II

Common Name ^a	CAS RN ^b	Chemical abstracts service index name ^c	Sug- gested methods ^d	PQL (µg/ l) ^e
Chloroform, Trichloromethane	67-66-3	Methane, trichloro-	8010	0.5
			8021	0.2
			8260	5
2-Chloronaphthalene	91-58-7	Naphthalene, 2-chloro-	8120	10
2-Chlorophenol	95-57-8	Phenol, 2-chloro-	8270	10
			8040	5
4-Chlorophenyl phenyl ether	7005-72-3	Benzene, 4-chloro-4-phenoxy-	8270	10
			8110	40
Chloroprene	126-69-8	1,3-Butadiene, 2-chloro-	8270	10
			8010	50
Chromium	(Total)	Chromium	8260	20
			6010	70
Chrysene	218-01-9	Chrysene	7190	500
			7191	10
Cobalt	(Total)	Cobalt	8100	200
			8270	10
Copper	(Total)	Copper	8010	70
			7200	500
m-Cresol, 3-methylphenol	108-39-4	Phenol, 3-methyl-	7201	10
			8010	60
o-Cresol, 2-methylphenol	95-48-7	Phenol, 2-methyl-	7210	200
			7211	10
p-Cresol, 4-methylphenol	106-44-5	Phenol, 4-methyl-	8270	10
			8270	10
Cyanide	57-12-5	Cyanide	9010	200
2,4-D, 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid	94-75-7	Acetic acid, (2,4-dichlorophenoxy)-	8150	10
4,4'-DDD	72-54-8	Benzene, 1,1'-(2,2-dichloroethyldiene)bis[4-chloro-	8080	0.1
			8270	10
4,4'-DDE	72-55-9	Benzene, 1,1'-(dichloroethenyldiene)bis[4-chloro-	8060	0.05
			8270	10
4,4'-DDT	50-29-3	Benzene, 1,1'-(2,2,2-trichloroethyldiene)bis[4-chloro-	8080	0.1
			8270	10
Diallate	2303-16-4	Carbanthioic acid, bis(1-methylethyl)-S (2,3-dichloro-2-propenyl) ester	8270	10
Dibenz[a,h]anthracene	53-70-3	Dibenz[a,h]anthracene	8100	200
			8270	10
Dibenzofuran	132-64-9	Dibenzofuran	8270	10
Dibromochloromethane, Chlorodibromomethane	124-48-1	Methane, dibromochloro-	8010	1
			8021	0.3
1,2-Dibromo-3-chloropropane, DBCP	96-12-8	Propane, 1,2-dibromo-3-chloro-	8260	5
			8011	0.1
1,2-Dibromoethane; Ethylene dibromide; EDB	106-93-4	Ethane, 1,2-dibromo-	8021	30
			8260	25
Di-n-butyl phthalate	84-74-2	1,2-Benzenedicarboxylic acid, dibutyl ester	8011	0.1
			8021	10
o-Dichlorobenzene; 1,2-Dichlorobenzene	95-50-1	Benzene, 1,2-dichloro-	8260	5
			8020	5
m-Dichlorobenzene; 1,3-Dichlorobenzene	541-73-1	Benzene, 1,3-Dichloro-	8021	0.5
			8120	10
p-Dichlorobenzene; 1,4-Dichlorobenzene	106-48-7	Benzene, 1,4-dichloro-	8260	5
			8270	10
3,3'-Dichlorobenzidine trans-1,4-Dichloro-2-butene	91-94-1 110-57-8	[1,1'-Biphenyl]-4,4'-diamine, 3,3'-dichloro- 2-Butene, 1,4-dichloro-, (E)-	8020	5
			8021	0.2
			8120	10
			8260	5
			8270	10
			8270	10
			8270	20
			8260	100

Common Name ²	CAS RN ³	Chemical abstracts service index name ⁴	Sug- gested methods ⁵	PQL (µg/ l) ⁶
Dichlorodifluoromethane, CFC 12	75-71-6	Methane, dichlorodifluoro	8021 8260	0.5 5
1,1-Dichloroethane, Ethylidene chloride	75-34-3	Ethane, 1,1-dichloro	8010 8021 8260	1 0.5 5
1,2-Dichloroethane, Ethylene dichloride	107-06-2	Ethane, 1,1-dichloro	8010 8021 8260	0.5 0.3 5
1,1-Dichloroethylene, 1,1-Dichloroethene, Vinylidene chloride	75-35-4	Ethene, 1,1-dichloro	8010 8021 8260	1 0.5 5
cis-1,2-Dichloroethylene, cis-1,2-Dichloroethene	156-59-2	Ethene, 1,2-dichloro, (Z)-	8021 8260	0.2 5
trans-1,2-Dichloroethylene, trans-1,2-Dichloroethene	156-60-5	Ethene, 1,2-dichloro, (E)-	8010 8021 8260	1 0.5 5
2,4-Dichlorophenol	120-83-2	Phenol, 2,4-dichloro	8040 8270	5 10
2,6-Dichlorophenol	87-85-0	Phenol, 2,6-dichloro	8270	10
1,2-Dichloropropane, Propylene dichloride	78-87-5	Propane, 1,2-dichloro	8010 8021 8260	0.5 0.05 5
1,3-Dichloropropane, Trimethylene dichloride	142-28-9	Propane, 1,3-dichloro	8021 8260	0.3 5
2,2-Dichloropropane, Isopropylidene chloride	594-20-7	Propane, 2,2-dichloro	8021 8260	0.5 15
1,1-Dichloropropene	583-58-6	1-Propene, 1,1-dichloro	8021 8260	0.2 5
cis-1,3-Dichloropropene	10061-01-5	1-Propene, 1,3-dichloro, (Z)-	8010 8260	20 10
trans-1,3-Dichloropropene	10061-02-6	1-Propene, 1,3-dichloro, (E)-	8010 8260	5 10
Dieldrin	60-57-1	2,7,3,6-Dimethanonaphth[2,3-b]oxirene, 3,4,5,6,9-hexa-chloro-1a,2,2a,3,6,7,7a-octahydro-, (1a α ,2 β ,2a α ,3 β ,6 α ,7 β ,7a α)-	8080 8270	0.05 10
Diethyl phthalate	84-66-2	1,2-Benzenedicarboxylic acid, diethyl ester	8060 8270	5 10
O,O-Diethyl O-2-pyrazinyl phosphorothioate, Thionazin	297-97-2	Phosphorothioic acid, O,O-diethyl O-pyrazinyl ester	8141 8270	5 20
Dimethoate	90-51-5	Phosphorodithioic acid, O,O-dimethyl S-[2-(methylamino)-2-oxoethyl] ester	8141 8270	3 20
p-(Dimethylamino)azobenzene	80-11-7	Benzenamine, N,N-dimethyl-4-(phenylazo)-	8270	10
7,12-Dimethylbenz[ajanthracene	57-97-6	Benzo[ajanthracene, 7,12-dimethyl-	8270	10
3,3'-Dimethylbenzidine	119-93-7	[1,1'-Biphenyl]-4,4'-diamine, 3,3'-dimethyl-	8270	10
2,4-Dimethylphenol, m-Xylenol	105-67-9	Phenol, 2,4-dimethyl-	8040 8270	5 10
Dimethyl phthalate	131-11-3	1,2-Benzenedicarboxylic acid, dimethyl ester	8060 8270	5 10
m-Dinitrobenzene	89-65-0	Benzene, 1,3-dinitro	8270	20
4,6-Dinitro-o-cresol, 4,6-Dinitro-2-methylphenol	534-52-1	Phenol, 2-methyl-4,6-dinitro	8040 8270	150 50
2,4-Dinitrophenol	51-28-5	Phenol, 2,4-dinitro	8040 8270	150 50
2,4-Dinitrotoluene	121-14-2	Benzene, 1-methyl-2,4-dinitro	8090 8270	0.2 10

Pt. 258, App. II

Common Name ^a	CAS RN ^b	Chemical abstracts service index name ^c	Sug- gested methods ^d	PQL (µg/ l) ^e
2,6-Dinitrotoluene	89-02-2	Benzene, 2-methyl-1,3-dinitro-	8060 8270	0.1 10
Dinoseb, DNBP, 2-sec-Butyl-4,6-dinitrophenol	86-85-7	Phenol, 2-(1-methylpropyl)-4,6-dinitro-	8155 8270	1 20
Di-n-octyl phthalate	117-84-0	1,2-Benzenedicarboxylic acid, dioctyl ester	8060 8270	50 10
Diphenylamine	122-39-4	Benzenamine, N-phenyl-	8270	10
Disulfoton	798-04-4	Phosphorodithioic acid, O,O-diethyl S-(2-ethylthio)ethyl ester	8140 8141 8270	2 0.5 10
Endosulfan I	959-98-8	6,9-Methano-2,4,3-benzodioxathiepin, 6,7,8,9,10,10-hexachloro-1,5,5a,6,9,9a-hexahydro-, 3-oxide	8080 8270	0.1 20
Endosulfan II	33213-65-9	6,9-Methano-2,4,3-benzodioxathiepin, 6,7,8,9,10,10-hexachloro-1,5,5a,6,9,9a-hexahydro-, 3-oxide, (3R,5aR,6R,9R,9aR)-	8090 8270	0.05 20
Endosulfan sulfate	1031-07-8	6,9-Methano-2,4,3-benzodioxathiepin, 6,7,8,9,10,10-hexachloro-1,5,5a,6,9,9a-hexahydro-, 3,3-dioxide	8080 8270	0.5 10
Endrin	72-20-3	2,7,3,6-Dimethanonaphth[2,3-b]oxirene, 3,4,5,6,9,9-hexachloro-1a,2,2a,3,6,6a,7,7a-octahydro-, (1aR,2R,2aR,3R,6aR,7R,7aR)-	8080 8270	0.1 20
Endrin aldehyde	7421-93-4	1,2,4-Methenocyclopenta[cd]pentalene-5-carboxaldehyde, 2,2a,3,3a,4,7-hexachlorodecahydro-, (1R,2R,2aR,3R,4aR,5R,6aR,6bR,7R)-	8080 8270	0.2 10
Ethylbenzene	100-41-4	Benzene, ethyl-	8020 8221 8260	2 0.05 5
Ethyl methacrylate	97-83-2	2-Propenoic acid, 2-methyl-, ethyl ester	8015 8260 8270	5 10 10
Ethyl methanesulfonate	62-50-0	Methanesulfonic acid, ethyl ester	8270	20
Famphur	52-85-7	Phosphorothioic acid, O-[4-[(dimethylamino)sulfonyl]phenyl] O,O-dimethyl ester	8270	20
Fluoranthene	208-44-0	Fluoranthene	8100 8270	200 10
Fluorene	86-73-7	9H-Fluorene	8100 8270	200 10
Heptachlor	76-44-8	4,7-Methano-1H-indene, 1,4,5,6,7,8,8-heptachloro-3a,4,7,7a-tetrahydro-	8080 8270	0.05 10
Heptachlor epoxide	1024-57-3	2,5-Methano-2H-indeno[1,2-b]oxirene, 2,3,4,5,6,7,7-heptachloro-1a,1b,5,5a,6,6a-hexahydro-, (1aR,1bR,2R,5R,5aR,6R,6aR)	8080 8270	1 10
Hexachlorobenzene	116-74-1	Benzene, hexachloro-	8120 8270	0.5 10
Hexachlorobutadiene	87-68-3	1,3-Butadiene, 1,1,2,3,4,4-hexachloro-	8021 8120 8260	0.5 5 10
Hexachlorocyclopentadiene	77-47-4	1,3-Cyclopentadiene, 1,2,3,4,5,5-hexachloro-	8120 8270	5 10
Hexachloroethane	67-72-1	Ethane, hexachloro-	8120 8260	0.5 10
Hexachloropropene	1886-71-7	1-Propene, 1,1,2,3,3,3-hexachloro-	8270	10
2-Hexanone, Methyl butyl ketone	501-78-8	2-Hexanone	8260	50
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	183-38-5	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	8100 8270	200 10
Isobutyl alcohol	78-83-1	1-Propanol, 2-methyl-	8015 8240	50 100
Isodrin	486-73-6	1,4,5,8-Dimethanonaphthalene, 1,2,3,4,10,10-hexachloro-1,4,4a,5,8,8a-hexahydro-, (1R,4R,4aR,5R,8R,8aR)-	8270 8260	20 10
Isophorone	78-59-1	2-Cyclohexen-1-one, 3,5,5-trimethyl-	8090 8270	60 10

Common Name ²	CAS RN ¹	Chemical abstracts service index name ⁴	Sug- gested methods	PQL (ppm L) ³
Isosafrole	120-58-1	1,3-Genzodiole, 5-(1-propenyl)-	8270	10
Kepone	143-50-0	1,3,4-Metheno-2H-cyclobuta[cd]pentalen-2-one	8270	20
Lead	(Total)	Lead	6010	400
			7420	1000
			7421	10
Mercury	(Total)	Mercury	7470	2
Methacrylonitrile	126-98-7	2-Propenenitrile, 2-methyl-	8015	5
			8260	100
Methacrylonitrile	91-80-5	1,2-Ethanediamine, N,N-dimethyl-N'-2-pyridinyl-N1/2-thienylmethyl-	8270	100
Methoxychlor	72-43-5	Benzene, 1,1'-(2,2,2-trichloroethylidene)bis[4-methoxy-	8060	2
			8270	10
Methyl bromide, Bromomethane	74-83-9	Methane, bromo-	8010	20
			8021	10
Methyl chloride, Chloromethane	74-87-3	Methane, chloro-	8010	1
			8021	0.3
3-Methylcholanthrene	56-49-5	Benz[<i>b</i>]aceanthrylene, 1,2-dihydro-3-methyl-	8270	10
Methyl ethyl ketone, MEK, 2-Butanone	78-93-3	2-Butanone	8015	10
			8260	100
Methyl iodide, Iodomethane	74-88-4	Methane, iodo-	8010	40
			8260	10
Methyl methacrylate	80-62-6	2-Propenoic acid, 2-methyl-, methyl ester	8015	2
			8260	30
Methyl methanesulfonate	66-27-3	Methanesulfonic acid, methyl ester	8270	10
2-Methylnaphthalene	91-57-6	Naphthalene, 2-methyl-	8270	10
Methyl parathion, Parathion methyl	298-00-0	Phosphorothioic acid, O,O-dimethyl-	8140	0.5
			8141	1
			8270	10
4-Methyl-2-pentanone, Methyl isobutyl ketone	108-10-1	2-Pentanone, 4-methyl-	8015	5
			8260	100
Methylene bromide, Dibromomethane	74-95-3	Methane, dibromo-	8010	15
			8021	20
			8260	10
Methylene chloride, Dichloromethane	75-09-2	Methane, dichloro-	8010	5
			8021	0.2
			8260	10
Naphthalene	91-20-3	Naphthalene	8021	0.5
			8100	200
			8260	5
			8270	10
1,4-Naphthoquinone	130-15-4	1,4-Naphthalenedione	8270	10
1-Naphthylamine	134-32-7	1-Naphthalenamine	8270	10
2-Naphthylamine	91-59-8	2-Naphthalenamine	8270	10
Nickel	(Total)	Nickel	8010	150
			7520	400
o-Nitroaniline, 2-Nitroaniline	88-74-4	Benzenamine, 2-nitro-	8270	50
m-Nitroaniline, 3-Nitroaniline	99-09-2	Benzenamine, 3-nitro-	8270	50
p-Nitroaniline, 4-Nitroaniline	100-01-6	Benzenamine, 4-nitro-	8270	20
Nitrobenzene	98-95-3	Benzene, nitro-	8090	40
			8270	10
o-Nitrophenol, 2-Nitrophenol	88-75-5	Phenol, 2-nitro-	8040	5
			8270	10
p-Nitrophenol, 4-Nitrophenol	100-02-7	Phenol, 4-nitro-	8040	10
			8270	50
N-Nitrosodi-n-butylamine	924-16-3	1-Butanamine, N-butyl-N-nitroso-	8270	10
N-Nitrosodimethylamine	55-18-5	Ethanamine, N-ethyl-N-nitroso-	8270	20
N-Nitrosodimethylamine	82-75-9	Methanamine, N-methyl-N-nitroso-	8070	2
N-Nitrosodiphenylamine	88-30-6	Benzenamine, N-nitroso-N-phenyl-	8070	5
N-Nitrosodipropylamine, N-Nitroso-N-dipropylamine, Di-n-propylnitrosamine	621-64-7	1-Propanamine, N-nitroso-N-propyl-	8070	10
N-Nitrosomethylethylamine	10505-85-6	Ethanamine, N-methyl-N-nitroso-	8270	10
N-Nitrosopiperidine	100-75-4	Piperidine, 1-nitroso-	8270	20
N-Nitrosopyrrolidine	930-55-2	Pyrrolidine, 1-nitroso-	8270	40
5-Nitro-o-toluidine	99-55-8	Benzenamine, 2-methyl-5-nitro-	8270	10
Parathion	56-38-2	Phosphorothioic acid, O,O-diethyl O-(4-nitrophenyl) ester	8141	0.5
			8270	10
Pentachlorobenzene	609-03-5	Benzene, pentachloro-	8270	10
Pentachloronitrobenzene	82-68-8	Benzene, pentachloronitro-	8270	20

Pt. 258, App. II

Common Name	CAS RN	Chemical abstracts service index name*	Sup- gested methods	PQL (µg/ L) ^b
Pentachlorophenol	87-86-5	Phenol pentachloro-	8040 8270	5 50
Phenacetin	62-44-2	Acetamide N-(4-ethoxyphenyl)	8270	20
Phenanthrene	85-01-8	Phenanthrene	8100 8270	200 10
Phenol	105-95-2	Phenol	8040	1
p-Phenylenediamine	103-50-3	1,4-Benzenediamine	8270	10
Phorate	298-02-2	Phosphorothioic acid, O,O-diethyl S- [(ethylthio)methyl] ester	8140 8141	2 0.5
Polychlorinated biphenyls, PCBs, Aroclors	See Note 9	1,1-Biphenyl, chloro derivatives	8080 8270	50 200
Pronamide	25950-58-5	Benzamide, 3,5-dichloro-N-(1,1-dimethyl-2- propenyl)-	8270	10
Propionitrile, Ethyl cyanide	107-12-0	Propanenitrile	8015 8260	60 150
Pyrene	129-00-0	Pyrene	8100 8270	200 10
Safrole	94-59-7	1,3-Benzodioxole, 5-(2-propenyl)-	8270	10
Selenium	(Total)	Selenium	6010 7740	750 20
Silver	(Total)	Silver	7741 6010 7760	20 70 100
Silvex, 2,4,5-TP	83-72-1	Propanoic acid, 2-(2,4,5-trichlorophenoxy)-	7781 8150	10 2
Styrene	100-42-5	Benzene, ethenyl-	8020 8021 8260	1 0.1 10
Sulfide	18496-25-8	Sulfide	9030	4000
2,4,5-T, 2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid	93-76-5	Acetic acid, (2,4,5-trichlorophenoxy)-	8150	2
1,2,4,5-Tetrachlorobenzene	95-94-3	Benzene, 1,2,4,5-tetrachloro-	8270	10
1,1,1,2-Tetrachloroethane	630-20-0	Ethane, 1,1,1,2-tetrachloro-	8010 8021	5 0.05
1,1,2,2-Tetrachloroethane	79-34-5	Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro-	8260 8010 8021	5 0.5 0.1
Tetrachloroethylene, Tetrachloroethene, Perchloroethylene	127-16-4	Ethane, tetrachloro-	8260 8021	5 0.5
2,3,4,6-Tetrachlorophenol	58-90-2	Phenol, 2,3,4,6-tetrachloro-	8270	10
Thallium	(Total)	Thallium	6010 7840 7841	400 1000 10
Tin	(Total)	Tin	6010	40
Toluene	108-38-3	Benzene, methyl-	8020 8021 8260	2 0.1 5
o-Toluidine	95-53-4	Benzenamine, 2-methyl-	8370	10
Toxaphene	See Note 10	Toxaphene	8080	2
1,2,4-Trichlorobenzene	120-82-1	Benzene, 1,2,4-trichloro-	8021 8120 8260	0.3 0.5 10
1,1,1-Trichloroethane; Methylchloroform	71-55-6	Ethane, 1,1,1-trichloro-	8270 8010 8021	10 0.3 0.3
1,1,2-Trichloroethane	79-00-5	Ethane, 1,1,2-trichloro-	8260 8010	5 0.2
Trichloroethylene, Trichloroethene	79-01-6	Ethene, trichloro-	8200 8010 8021	5 1 0.2
Trichlorofluoroethane, CFC-11	75-69-4	Methane, trichlorofluoro-	8260 8010 8021	5 10 0.3
2,4,5-Trichlorophenol	65-96-4	Phenol, 2,4,5-trichloro-	8260 8270	5 10
2,4,6-Trichlorophenol	86-06-2	Phenol, 2,4,6-trichloro-	8040 8270	5 10

Pt. 250, App. II

Common Name ²	CAS R#1 ³	Chemical abstracts service index name ⁴	Sug- gested methods ⁵	PQL (µg/ L) ⁶
1,2,3-Trichloropropane	96-18-4	Propane, 1,2,3-trichloro-	6010	10
			8021	5
			8260	15
0,0,0-Triethyl phosphorothioate	126-68-1	Phosphorothioic acid, 0,0,0 triethyl ester	8270	10
sym-Trinitrobenzene	99-35-4	Benzene, 1,3,5-trinitro-	8270	10
Vanadium	(Total)	Vanadium	6010	80
			7910	2000
			7911	40
Vinyl acetate	108-05-4	Acetic acid, ethenyl ester	8200	50
Vinyl chloride, Chloroethene	75-01-4	Ethene, chloro-	6010	2
			8021	0.4
			8260	10
Xylene (total)	See Note 11	Benzene, dimethyl-	8020	5
			8021	0.2
			8260	5
Zinc	(Total)	Zinc	6010	20
			7950	50
			7951	0.5

Notes

¹The regulatory requirements pertain only to the list of substances, the right hand columns (Methods and PQL) are given for informational purposes only. See also footnotes 5 and 6

²Common names are those widely used in government regulations, scientific publications, and commerce. Synonyms exist for many chemicals

³Chemical Abstracts Service registry number. Where "Total" is entered, all species in the ground water that contain this element are included.

⁴CAS index are those used in the 9th Collective Index

⁵Suggested Methods refer to analytical procedure numbers used in EPA Report SW-846 "Test Methods for Evaluating Solid Waste", third edition, November 1986, as revised, December 1987. Analytical details can be found in SW-846 and in documentation on file at the agency. CAUTION: The methods listed are representative SW-846 procedures and may not always be the most suitable method(s) for monitoring an analyte under the regulations.

⁶Practical Quantitation Limits (PQLs) are the lowest concentrations of analytes in ground waters that can be reliably determined within specified limits of precision and accuracy by the indicated methods under routine laboratory operating conditions. The PQLs listed are generally stated to one significant figure. PQLs are based on 5 mL samples for volatile organics and 1 L samples for semivolatile organics. CAUTION: The PQL values in many cases are based only on a general estimate for the method and not on a determination for individual compounds. PQLs are not a part of the regulation.

⁷This substance is often called Bis(2-chloroisopropyl) ether, the name Chemical Abstracts Service applies to its noncommercial isomer, Propane, 2,2'-oxybis(2-chloro- (CAS RN 39838-32-9)

⁸Chlordane: This entry includes alpha-chlordane (CAS RN 5103-71-0), beta-chlordane (CAS RN 5103-74-2), gamma-chlordane (CAS RN 5566-34-7), and constituents of chlordane (CAS RN 57-74-0 and CAS RN 12789-03-6). PQL shown is for technical chlordane. PQLs of specific isomers are about 20 µg/L by method 8270.

⁹Polychlorinated biphenyls (CAS RN 1336-36-3), this category contains congener chemicals, including constituents of Aroclor 1016 (CAS RN 12674-11-2), Aroclor 1221 (CAS RN 11104-28-2), Aroclor 1232 (CAS RN 11141-16-5), Aroclor 1242 (CAS RN 53469-21-0), Aroclor 1248 (CAS RN 12672-29-6), Aroclor 1254 (CAS RN 11097-69-1), and Aroclor 1260 (CAS RN 11098-82-5). The PQL shown is an average value for PCB congeners.

¹⁰Toxaphene: This entry includes congener chemicals contained in technical toxaphene (CAS RN 8001-35-2), i.e., chlorinated camphene.

¹¹Xylene (total): This entry includes o-xylene (CAS RN 96-47-6), m-xylene (CAS RN 106-38-3), p-xylene (CAS RN 106-42-3), and unspecified xylenes (dimethylbenzenes) (CAS RN 1330-20-7). PQLs for method 8021 are 0.2 for o-xylene and 0.1 for m- or p-xylene. The PQL for m-xylene is 2.0 µg/L by method 8020 or 8260.