



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA

CARACTERÍSTICAS E IMPORTANCIA DE LOS RELLENOS SANITARIOS

CI 19

**EXPOSITORA: ING. DORAIDA SOCORRO RODRÍGUEZ SORDÍA
DEL 3 AL 5 DE DICIEMBRE DE 2008.
GOBIERNO DEL ESTADO DE MICHOACÁN
HOTEL POSADA VISTA BELLA
MORELIA, MICHOACÁN**

CARACTERÍSTICAS E IMPORTANCIA DE LOS RELLENOS SANITARIOS

Profesor: M. en C. Doraida Socorro Rodríguez Sordía

Duración: 20 horas

Objetivo: Conocer las características básicas de este tipo de disposición final de los residuos sólidos, en lo concerniente a selección de sitios, operación y construcción, así como los riesgos ambientales y sanitarios relacionados con el manejo de la basura urbana.

Dirigido a: Personal involucrado en la disposición final de residuos sólidos por relleno sanitario, así como profesionales, técnicos, investigadores y estudiantes con preocupaciones sobre la temática.

Temario:

- I. Generalidades sobre Métodos de Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales (Residuos Sólidos Urbanos)
- II. Disposición Final mediante Rellenos Sanitarios (RS)
 - II.1 Definición y antecedentes del relleno sanitario
 - II.2 El relleno sanitario en los sistemas de manejo de residuos sólidos municipales
 - II.3 Ventajas y desventajas del RS
 - II.4 Selección de Sitios
 - II.5 Diseño de rellenos sanitarios
 - II.6 Métodos empleados
 - II.7 Reacciones que ocurren en un RS
- III. Procedimientos de operación
 - III.1 Procedimiento de disposición de residuos
 - III.2 Procedimientos de control de asentamientos, lixiviados y biogas
 - III.3 Mantenimiento y servicio
 - III.4 Procedimientos de Monitoreo
 - III.5 Seguridad
- IV. Construcción de Relleno Sanitario Manual
 - IV.1 Relleno Sanitario Manual
 - IV.2 Aspectos Generales
 - IV.3 Operación
- V. Introducción a los Riesgos al Ambiente y la Salud por la exposición a los Residuos Sólidos
 - V.1 Riesgos asociados a los vectores
 - V.2 Riesgos asociados a la sobrevivencia de microorganismos patógenos
 - V.3 Riesgos ocupacionales
 - V.4 Riesgos asociados a la salud pública
- VI. Ejercicios evaluados
 - VI.1 Cálculo de la interfase del suelo para la remoción de la contaminación inorgánica
 - VI.2 Cálculo de la vida útil de un sitio de disposición final
 - VI.3 Cálculo de la generación de biogas producido en un relleno sanitario

I. GENERALIDADES SOBRE MÉTODOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES (URBANOS)

Se considera la disposición final la última etapa del manejo de los residuos sólidos, y la que debe concluir el proceso minimizando los daños al ambiente y la salud. De forma general se plantean cinco formas de disposición final, las cuales son:

1. Relleno higiénico
2. Vertido al mar
3. Encapsulamiento
4. Relleno Sanitario
5. Vertimientos a cielo abierto (tiraderos)

1. Relleno Higiénico: Se basa en la molienda y trituración de residuos previamente sometidos a reciclamiento para aumentar su área de contacto con el aire y así acelerar su descomposición aerobia, la cual se logra entre 4 y 6 meses. La altura no debe exceder a 1.0 metro y no requiere material de cubierta. Presenta menos riesgos en climas fríos para evitar la proliferación de moscas.

2. Vertido al mar: Una vez reciclados los residuos inorgánicos y orgánicos, las fracciones que aún quedan son molidas (en ocasiones) y depositadas en lugares previamente seleccionados por su profundidad y el movimiento de las mareas en el océano. Algunos países asiáticos rellenan zonas marinas con estos residuos que son depositados en áreas previamente delimitadas y le ganan terrenos al mar. Esta práctica actualmente está en desuso por la normatividad internacional.

3. Encapsulamiento: Actualmente se restringe a residuos industriales y procedentes de centros de investigación y de salud.

4. Relleno Sanitario: Método que utiliza principios de ingeniería para el depósito, esparcido y compactación de los residuos sólidos urbanos, ocupando para ello el menor espacio posible y cubriéndolos con una capa de tierra al término de cada jornada, de tal forma que se minimizan los impactos al ambiente, así como los riesgos a la salud y la seguridad de la población.

5. Vertimiento a cielo abierto (tiraderos): Método utilizado en países en vías de desarrollo, el cual contamina el ambiente y causa daños a la salud. Entre sus principales características se consideran las siguientes: a) surgen de forma clandestina; b) generalmente no tienen control, ni protección ni vigilancia; c) propician la fauna nociva; d) generan problemas sociales, ecológicos, de salud y ambientales; e) no se recubren diariamente; f) no se protege el sitio; g) problemas con la basura; y h) hábitat adecuado para ratas, moscas, vacas, perros y diferentes especies de vectores mecánicos y biológicos.

II. DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MEDIANTE RELLENO SANITARIO

II.1 DEFINICION Y ANTECEDENTES DEL RELLENO SANITARIO

La disposición final de los residuos sólidos ha sido practicada por varios siglos. En realidad, hace 2000 años los griegos enterraban sus residuos sólidos sin compactar. En 1930, en la ciudad de Nueva York y Fresno, California, iniciaron la compactación de los residuos con equipo pesado y cubriéndolos, así el término de "Relleno Sanitario" fue inventado.

Un relleno sanitario, es tradicionalmente definido como un método de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos en el suelo, de tal manera que proteja el ambiente, mediante el extendido de los residuos en capas delgadas, compactándolas al menor volumen posible y cubriéndolas con tierra al término de cada día de trabajo.

El relleno sanitario es la instalación física usada para la disposición final de los residuos sólidos municipales sobre la superficie del suelo. En el pasado, el término de relleno sanitario fue usado para denotar simplemente el sitio en el cual los residuos eran depositados en el suelo y cubiertos al final de cada día de operación. En la actualidad, el relleno sanitario se refiere a una instalación de ingeniería para la disposición de los residuos sólidos municipales, diseñada y operada para minimizar los impactos a la salud pública y al ambiente.

Actualmente, el relleno sanitario cuenta con elementos de control suficientemente seguros y modernos y su éxito radica en el adecuado diseño y por supuesto en una óptima operación.

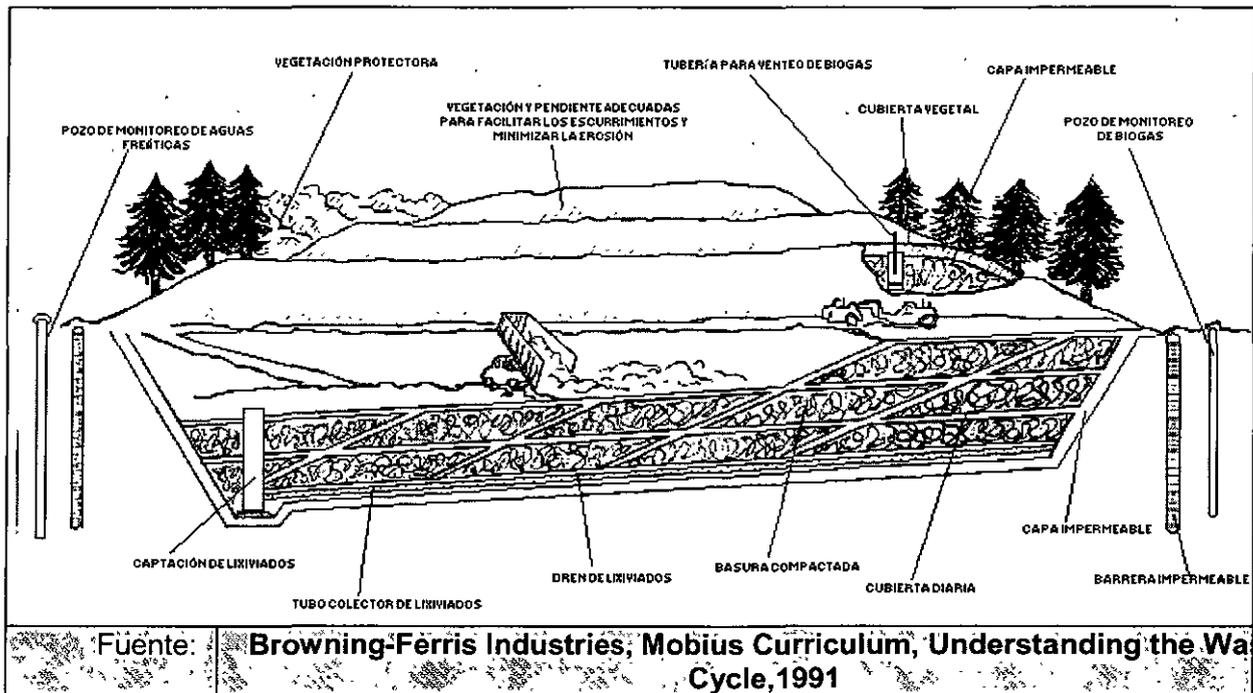
En la **Figura II.1**, se ilustra un diagrama de un Sistema de Relleno Sanitario con sus diferentes componentes.

II.2 EL RELLENO SANITARIO EN LOS SISTEMAS DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

La disposición final de residuos sólidos segura y confiable a largo plazo, debe ser un componente importante del Manejo Integral de Residuos Sólidos. Ya que estos últimos se consideran como los materiales que ya no tienen un uso y que no pueden ser recuperados para los sistemas productivos.

Cuando se evalúa la utilidad de cada uno de los elementos funcionales, así como la efectividad y economía de todas las interfaces y conexiones entre esos diferentes elementos, se puede desarrollar un Sistema de Manejo Integral de Residuos. En este contexto, dicho sistema, puede definirse como la selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de manejo factibles, con la finalidad de alcanzar objetivos y metas específicas para el manejo de residuos. Debido a la legislación que se está adoptando, el Manejo Integral de Residuos Sólidos, también está desarrollándose en respuesta a los cambios e implementación de las leyes, los reglamentos y las normas.

FIGURA II.1 **DIAGRAMA DE UN RELLENO SANITARIO**



Fuente: **Browning-Ferris Industries, Mobius Curriculum, Understanding the Waste Cycle, 1991**

También se ha establecido una jerarquización de actividades para el manejo de residuos, en la legislación de diferentes países.

La jerarquización (arreglo en orden de importancia), se puede utilizar para establecer la prioridad de las acciones para implementar los programas de manejo de residuos. La jerarquización del Manejo Integral de Residuos Sólidos más comúnmente adoptada por los países desarrollados, coincidentemente la que recomienda la U.S. Environmental Protection Agency (EPA), está compuesta por los siguientes elementos: reducción en la fuente, reciclaje, combustión y relleno sanitario, que en otros casos, se modifica de la siguiente manera: reducción en la fuente, reciclaje, transformación o tratamiento y relleno sanitario.

De cualquier forma, los diferentes elementos del Manejo Integral de Residuos Sólidos deben estar siempre interrelacionados en cualquier programa o sistema y haber sido seleccionados para complementarse unos a otros.

El desarrollo e implementación de un plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos consiste en la selección de la mezcla adecuada de tecnologías y alternativas para satisfacer las cambiantes necesidades locales de manejo de residuos al mismo tiempo que se cumple con los ordenamientos legales.

Al final, algo se debe hacer con (1) los residuos sólidos que no pueden ser reciclados y no pueden tener un uso futuro; (2) los materiales residuales que permanecen después que los residuos sólidos han sido sometidos a un proceso de separación en una Instalación para la Separación de Materiales (MRF, por sus siglas en inglés); y (3) los materiales residuales que permanecen después que los residuos sólidos han sido sometidos a un proceso de conversión de productos o energía.

Existen solamente dos alternativas disponibles para el manejo a largo plazo de los residuos sólidos o materiales residuales: disposición sobre o en el manto térrico y disposición en el fondo del océano. El relleno sanitario, cuarto nivel de la clasificación del Manejo Integral de Residuos Sólidos, involucra la

disposición controlada de los residuos sobre o en el manto térrico y es por mucho el método más común de disposición de residuos. El relleno sanitario se encuentra en el nivel más bajo de la jerarquización del Manejo Integral de los Residuos Sólidos, porque representa el último medio deseable para manejar los residuos de la sociedad (Tchobanoglous G., 1993).

II.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RELLENO SANITARIO

a) Ventajas:

- ◆ *El relleno sanitario como uno de los métodos de disposición final de los residuos sólidos municipales, es la alternativa más económica; sin embargo, no hay que olvidar que es necesario asignar recursos financieros y técnicos suficientes para la planeación, diseño, construcción y operación.*
- ◆ *La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para la implementación de un sistema de tratamiento tal como la separación, composteo o incineración.*
- ◆ *Cuando se dispone de material para la cobertura de los residuos sólidos en el mismo sitio, esta condición es generalmente la más económica de las diferentes opciones para la disposición final.*
- ◆ *El relleno sanitario es un método final para la disposición de los residuos sólidos, que no requiere de operaciones adicionales, tal como el caso de la incineración o el composteo, los cuales requieren un sitio y de operaciones adicionales para la disposición de los productos finales.*
- ◆ *Se recuperan terrenos antes considerados como improductivos o marginales transformándolos en áreas útiles para la creación de parques, zonas recreativas y esparcimiento, o simplemente áreas verdes.*
- ◆ *Es un método flexible, dado que en caso de incrementar la cantidad de residuos por disponer se requiere únicamente de muy poco equipo y personal.*
- ◆ *El gas metano generado por la descomposición de la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos, puede ser atractivo para su aprovechamiento como fuente de energía no convencional, dependiendo de las características del sitio.*

b) Desventajas:

- ◆ *La construcción de un relleno sanitario, por la oposición de la población debido a dos aspectos fundamentales: la falta de conocimiento sobre el método de relleno sanitario y la desconfianza en los servidores públicos de la localidad.*
 - ◆ *Se requiere de una supervisión permanente para mantener un alto nivel de las operaciones y asegurar que no habrá fallas a futuro.*
 - ◆ *Cuando no existen terrenos cercanos a las fuentes de generación de residuos sólidos, debido al crecimiento urbano, el costo de transporte se verá fuertemente afectado.*
 - ◆ *La relativa cercanía de los rellenos a las áreas urbanas puede provocar serios problemas de queja pública.*
-

- ◆ *Existe un alto riesgo, sobre todo en los países del tercer mundo, que por la carencia de recursos económicos para la operación y mantenimiento, se convierta el relleno sanitario en tiradero a cielo abierto.*
- ◆ *Puede presentarse eventualmente la contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas, así como la generación de olores desagradables y gases, si no se toman las debidas medidas de control y de seguridad.*
- ◆ *Los asentamientos diferenciales que sufren los rellenos sanitarios con respecto al tiempo, impide que estos sean utilizados una vez que se han concluido las operaciones.*

II.4 SELECCIÓN DE SITIOS

La selección de un sitio es el primer paso en el diseño de un relleno sanitario. La importancia de una adecuada planeación del proceso de selección es vital para asegurar que el diseño cumpla con todos los requerimientos que aseguren su adecuada ubicación y futura operación. El reconocimiento no solamente de factores técnicos, sino también de factores ambientales, económicos, sociales y políticos, es vital. El objetivo del estudio de selección de sitios es encontrar un sitio donde la disposición de los Residuos Sólidos Municipales (RSM) pueda realizarse económicamente con el mínimo trastorno del ambiente y la salud humana. De forma general y a nivel internacional se ha establecido que un relleno sanitario ideal debe tener las siguientes características:

| |
|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Compatible con los planes de uso del suelo, del área en que se asienta. |
| <input checked="" type="checkbox"/> Fácilmente accesible en cualquier clima, para los vehículos esperados durante su etapa de operación. |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contar con medidas de seguridad, contra la potencial contaminación del agua superficial y subterránea. |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contar con medidas de seguridad, contra el movimiento incontrolado del gas originado por los residuos sólidos depositados. |
| <input checked="" type="checkbox"/> Contar con la cantidad adecuada de material de cobertura, de fácil manejo y compactación. |
| <input checked="" type="checkbox"/> Estar ubicado en un área donde la operación del relleno no impactará en forma negativa los recursos sensibles del ambiente. |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ser lo suficientemente grande para recibir los residuos de la comunidad por servir durante un intervalo de tiempo razonable. |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ser el sitio más económico disponible y cumplir con los requisitos para la disposición de residuos sólidos, conforme a las restricciones de la legislación aplicable o en su defecto conforme a los criterios internacionalmente aceptados. |

II.4.1 Metodología de Selección del Sitio

El uso de una metodología específica para la selección de un sitio para disposición final de residuos sólidos es benéfico, ya que de esta forma se puede mostrar que se analizó un buen número de sitio.

potenciales y con los criterios más significativos, antes de seleccionar un sitio en particular para los estudios detallados y la posible implementación del relleno. El proceso recomendado generalmente en la selección de sitios para la instalación de un relleno sanitario consiste en las siguientes etapas:

1. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE ZONAS DE ESTUDIO
2. IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES
3. EVALUACIÓN Y CRIBADO DE LOS SITIOS POTENCIALES
4. SELECCIÓN FINAL DEL SITIO

II.4.2 Identificación y Evaluación de Zonas de Estudio

En este caso se considera conveniente delimitar aquellas áreas que dentro de la extensión del territorio municipal, presentan las condiciones menos adversas para albergar un sitio de disposición final de RSM. El primer paso es la determinación del radio máximo del área de estudio, con base en las distancias de transporte desde las estaciones de transferencia y/o los centroides de las áreas potenciales de servicio; y el segundo paso, la determinación de las restricciones legales, físicas, demográficas, sociales, estéticas y sanitarias.

Una forma de identificación de las zonas factibles es a través de la utilización de cubiertas (acetatos) que se sobreponen sobre un plano, cada acetato identifica las áreas con limitaciones moderadas o severas para determinado criterio. Dentro de los criterios que se utilizan, destacan los siguientes:

- ◆ Geología.
- ◆ Hidrología subterránea.
- ◆ Zonas de preservación ecológica.
- ◆ Zonas susceptibles de desarrollo urbano.
- ◆ Hidrología superficial.
- ◆ Uso potencial del suelo.
- ◆ Topografía.
- ◆ Infraestructura de comunicación y conducción.
- ◆ Importancia arqueológica e histórica.
- ◆ Edafología.
- ◆ Climatología lluviosa.
- ◆ Climatología en sequía.

De esta manera, se eliminan las zonas menos deseables, por sus diversas características, que corresponderán a las áreas restringidas.

Las investigaciones del subsuelo deben ser realizadas para aquellos sitios potenciales con las características más deseables.

Una vez, sobrepuestas las cubiertas con los criterios en donde se identifican aquellas áreas con limitaciones para ubicación de un sitio de disposición final, se procede a descartarlos y ha enfocarse el análisis sobre aquellas zonas que tienen vocación para los fines perseguidos. Un ejemplo de esta metodología se ilustra en la **Figura II.2**

II.4.3 Identificación de Sitios Potenciales

Una vez conocidas las áreas que pueden ser estudiadas y después de establecer el tamaño del relleno requerido para recibir los residuos del área poblacional o urbana de interés, por un cierto número de años, la búsqueda de sitios viables dentro de dichas áreas puede comenzar, manteniendo siempre presentes las restricciones tanto técnicas como legales, que se estudien para la ubicación de sitios.

II.4.4 Evaluación y Cribado de los Sitios Potenciales

En la metodología para el cribado de los sitios potenciales se toman en cuenta consideraciones técnicas, económicas y de aceptación pública. La metodología puede incluir diversos sistemas de calificación, así como algunos análisis de tipo subjetivo. Normalmente se recomienda realizar la investigación de 3 a 5 sitios potenciales e identificar los problemas de cada uno, ya que las investigaciones de campo pueden proporcionar información complementaria. Sin embargo, el grado de detalle y la intensidad de la investigación variará de un sitio a otro.

Dentro de las consideraciones técnicas se tienen las siguientes:

◆ **Consideraciones Técnicas.**

- a) Distancia de transporte.
- b) Tamaño y vida del sitio
- c) Topografía.
- d) Agua superficial.
- e) Suelos y geología
- f) Agua subterránea.
- g) Cantidad y compatibilidad del suelo (material de cobertura).
- h) Vegetación.
- i) Áreas ambientalmente sensibles.
- j) Áreas de importancia arqueológica e histórica.
- k) Accesos al sitio.
- l) Uso del suelo.

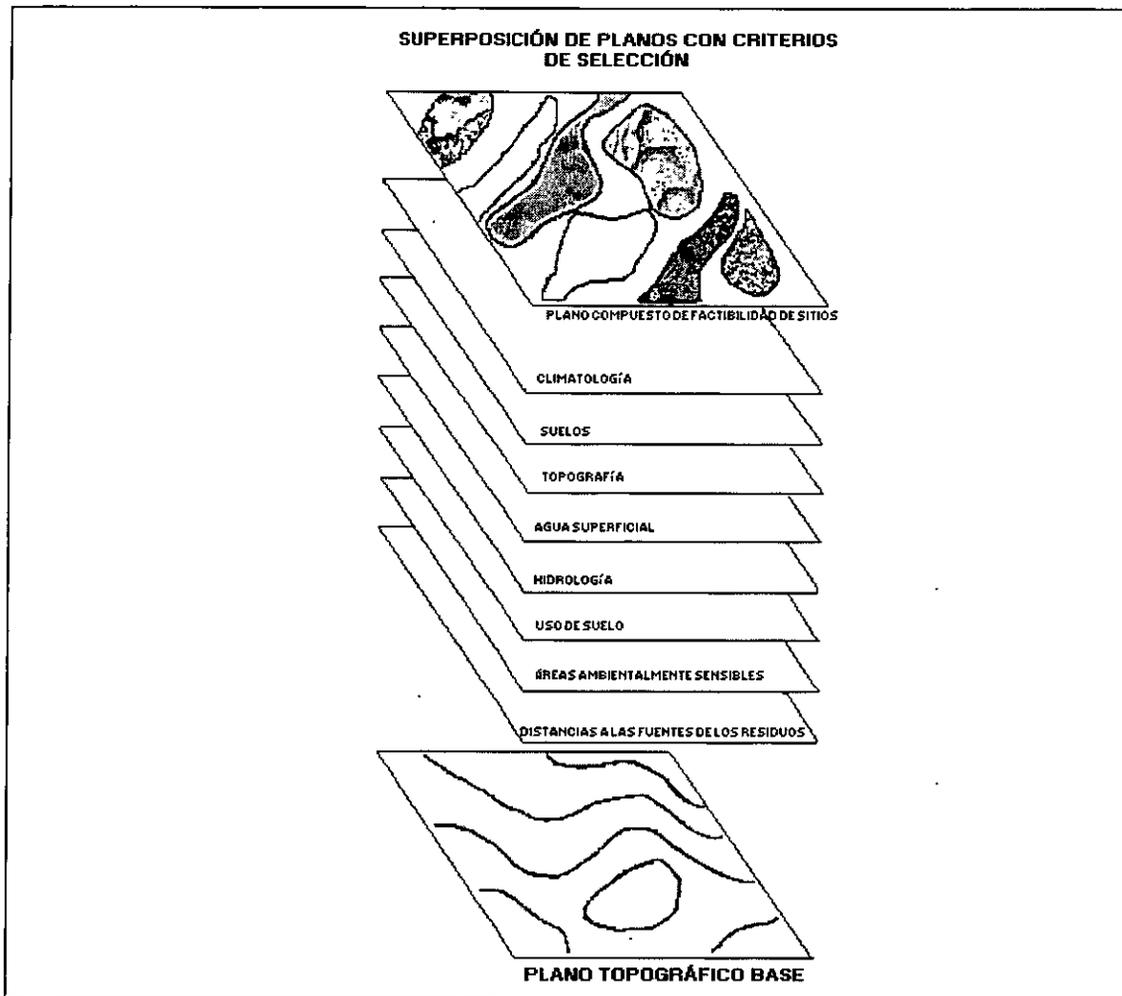
◆ Consideraciones económicas.

◆ Consideraciones de aceptación pública.

II.4.5 Selección Final del Sitio

En esta etapa final se debe considerar, además de los resultados del proceso de evaluación y clasificación de los sitios, las alternativas de uso del sitio terminado y determinar el uso para cada sitio potencial. El mejor sitio será aquel cuyo uso final sea acorde con los planes de desarrollo de la zona en que se asienta y además presente la mayor prioridad en la clasificación realizada previamente.

FIGURA II. SELECCIÓN DE SITIOS



II.5 DISEÑO DE RELLENOS SANITARIOS

II.5.1 Metas Básicas del Relleno Sanitario

El diseño del sistema de disposición final debe mantener muy presente las metas (Robinson, W, 1986 y GRCDA, 1988) primordiales para cumplir con la filosofía propia del relleno sanitario, estas metas son las siguientes:

- Cumplir con toda las regulaciones aplicables.
- Proteger el ambiente físico (agua subterránea, agua superficial , suelo y aire)
- Minimizar las molestias de la operación (ligeros, polvo, fuego).
- Minimizar los costos (inicial, operación y total).
- Minimizar el impacto a cuerpos de agua, controlando e impidiendo escurrimientos superficiales.
- Minimizar el tiempo de descarga a los usuarios.
- Proteger a los trabajadores y usuarios.
- Optimizar el espacio del relleno sanitario y prolongar al máximo la vida útil.
- Mantener la estética del lugar

II.5.2 Consideraciones del Uso Final del Sitio

El uso final del relleno sanitario debe ser considerado durante la fase de diseño, a fin de garantizar el mejor uso futuro del área. La planeación en la fase más temprana posible minimizará los costos y maximizará la utilidad del sitio después de la clausura.

II.5.3 Pasos para el Diseño de un Relleno Sanitario

Dado que tanto el residente del relleno sanitario y/o personal operativo, tendrán acceso a las memorias del proyecto ejecutivo de relleno sanitario, para conocer el plan de operación propuesto y demás información valiosa para el entendimiento del sistema en su conjunto, a continuación se describen de manera global los diferentes pasos que deben seguirse para asegurar un diseño efectivo :

1. Determinación de las cantidades y características de los residuos sólidos por disponer.

- *Actual.*
- *Proyectada.*

2.- Recopilación de información para el sitio.

a.- Preparación de planos de las condiciones del sitio (dentro y fuera).

b.- Preparación de planos base de las condiciones existentes cerca del sitio.

- Propiedades aledañas.
- Topografía y pendientes.
- Cuerpos de agua superficial.
- Caminos.
- Instalaciones.
- Usos del suelo.

c.- Recopilación de información geohidrológica y preparación de planos del sitio.

- Suelo (profundidad, textura, estructura, densidad, porosidad, permeabilidad, humedad, facilidad de excavado, estabilidad, pH y capacidad de intercambio catiónico).
- Lecho rocoso (profundidad, tipo, presencia de fracturas y localización de afloramientos).
- Agua subterránea (profundidad promedio, fluctuaciones estacionales, gradiente hidráulico y dirección de flujo, velocidad de flujo, calidad y usos).

d.- Recopilación de datos climatológicos.

- *Precipitación.*
- *Evaporación.*
- *Temperatura.*
- *Días de helada.*
- *Dirección de vientos.*

e.- Identificación y evaluación de la regulación.

- Leyes federales, estatales y locales.
 - Normas y estándar de diseño.
-

3.- Diseño del área de relleno.

- a. Selección del método de operación: basado en la topografía, tipo de suelo, lecho rocoso y profundidad del acuífero.
- b. Especificaciones de dimensiones de diseño.
 - Ancho, altura, profundidad de celda.
 - Espesor de cubierta diaria, intermedia y final.
- c. Especificaciones de los elementos de la operación.
 - Uso de la cubierta.
 - Método de aplicación de cubierta.
 - Requerimientos de importación de material de cubierta.
 - Requerimientos de equipo.
 - Requerimientos de personal.

4.- Elementos de diseño.

- a. Control de lixiviados.
- b. Control de biogas.
- c. Control de escurrimientos.
- d. Caminos de acceso.
- e. Áreas de trabajo especial.
- f. Manejo de residuos especiales.
- g. Estructuras.
- h. Instalaciones.
- i. Cercado.
- j. Alumbrado.
- k. Caseta de vigilancia.
- l. Pozos de monitoreo.
- m. Paisaje.

5.- Preparación del diseño.

- a. Desarrollo preliminar del plan de las áreas de relleno.
 - b. Desarrollo de los planos del relleno.
 - Planos de excavación.
 - Secuencia de llenado.
 - Perfil final.
 - Controles del sitio.
 - c. Cálculo de volumen de residuos sólidos, volumen de material de cubierta requerido y vida útil.
 - d. Desarrollo de los planes definitivos.
-

- Áreas de llenado normal.
 - Áreas de trabajo especial.
 - Control de lixiviados y biogas.
 - Control de aguas superficiales.
 - Caminos de acceso.
 - Instalaciones generales.
 - Cercado.
 - Instalaciones de monitoreo.
- e. Preparación de plano en planta y con secciones transversales.
- Desplante.
 - Perfil final.
 - Fases intermedias de llenado.
- f. Preparación de detalles constructivos.
- Control de lixiviados y biogas.
 - Control de aguas superficiales.
 - Caminos de acceso.
 - Pozos de monitoreo.
- g. Preparación del plano de uso final.
- h. Preparación del informe.
- i. Preparación del impacto ambiental.
- j. Manual del manual de operación.
- k. Preparación del manual de operación.

II. 6 MÉTODOS EMPLEADOS PARA EL RELLENO SANITARIO

Los principales métodos usados para disponer los RSM en un relleno sanitario pueden clasificarse como: 1) Trinchera, 2) Área, y 3) Combinado. Las características principales de cada uno de estos métodos se describen a continuación:

II.6.1 Método de Trinchera

Este método es usado normalmente donde el nivel de aguas freáticas es profundo, las pendientes del terreno son suaves y las trincheras pueden ser excavadas utilizando equipos normales de movimiento de tierras.

Este método consiste en depositar los residuos sobre el talud inclinado de la trinchera (talud 3:1), donde son esparcidos y compactados con el 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 los residuos.

II.6.2 Método de Área

Este método se puede usar en cualquier tipo de terreno disponible como canteras abandonadas, inicio de cañadas, terrenos planos, depresiones y ciénegas contaminadas; un punto importante en este método para que el relleno sea económico, es que el material de cubierta debe transportarse de lugares cercanos a éste. El método es similar al de trinchera y consiste en depositar los residuos sobre el talud inclinado, se compactan en capas inclinadas para formar la celda que después se cubre con tierra. Las celdas se construyen inicialmente en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo.

II. 6.3 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 dos métodos anteriores, por ejemplo, se inicia con el método de trinchera y posteriormente se continúa con el método de área en la parte superior. Otra variación del método combinado, consiste en iniciar con un método de área, excavando el material de cubierta de la base de la rampa, formándose una trinchera, la cual servirá también para ser rellenada. Los métodos combinados son considerados los más eficientes ya que permiten ahorrar el transporte del material de cubierta (siempre y cuando exista éste en el sitio) y aumentan la vida útil del sitio. En las **Figuras II.3, II.4 y II.5** se ilustran los métodos descritos.

II.7 REACCIONES QUE OCURREN EN EL RELLENO SANITARIO

Los residuos sólidos depositados en el relleno sanitario sufren una serie de cambios biológicos, químicos y físicos de manera simultánea e interrelacionada. Estos cambios se describen de manera general, con el propósito de que los operadores de rellenos sanitarios tengan una idea más amplia de los procesos internos que se presentan cuando los residuos son confinados.

II.7.1 Reacciones Biológicas

Las más importantes reacciones biológicas que ocurren en los rellenos sanitarios son aquellas asociadas con la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos municipales la cual conlleva a la generación de gases y eventualmente líquidos. El proceso de descomposición inicia de forma aeróbica (en presencia de oxígeno), una vez que los residuos fueron cubiertos se inicia esta etapa hasta que el oxígeno es consumido por la actividad biológica. Durante la etapa de descomposición aeróbica se genera principalmente un gas llamado bióxido de carbono. Una vez que el oxígeno se ha consumido, la descomposición se lleva a cabo de manera anaeróbica (ausencia de oxígeno) y en esta etapa la materia orgánica se transforma principalmente en bióxido de carbono, metano y cantidades traza de amoníaco y ácido sulfhídrico. Asimismo, muchas otras reacciones químicas son llevadas a cabo a través de la actividad biológica.

II.7.2 Reacciones Químicas

Las reacciones importantes que ocurren dentro del relleno sanitario abarcan la disolución y suspensión de materiales y productos de conversión biológica en los líquidos que percolan a través de los residuos sólidos, la evaporación y vaporización de compuestos químicos y agua, dentro de la masa envolvente de biogás, la adsorción de compuestos orgánicos volátiles y semi volátiles dentro de los materiales del relleno, la deshalogenación y descomposición de compuestos orgánicos y las reacciones de óxido-reducción que afectan la disolución de metales y sales metálicas. La disolución de los productos de conversión biológica y otros compuestos, particularmente los compuestos orgánicos, dentro de los lixiviados es un punto muy importante, porque estos materiales pueden ser transportados fuera del relleno sanitario con los lixiviados. Estos compuestos orgánicos pueden ser posteriormente incorporados a la atmósfera a través del suelo (cuando se tiene una fuga) o a través

de las instalaciones de tratamiento de lixiviados. Otras importantes reacciones químicas que se presentan, son aquellas entre ciertos compuestos orgánicos y las capas de arcilla las cuales alteran las propiedades y estructura de la misma. Las interrelaciones de estas reacciones químicas dentro del relleno sanitario no son bien conocidas.

II.7.3 Reacciones Físicas

Los cambios físicos más importantes en el relleno sanitario están asociados con la difusión de gases dentro y fuera del relleno, el movimiento de lixiviados en el relleno sanitario y subsuelo y los asentamientos causados por la consolidación y descomposición de los materiales depositados.

El movimiento de gases y las emisiones son consideraciones de particular importancia para el manejo del sistema. Por ejemplo, cuando el biogas se encuentra atrapado, la presión interna puede causar agrietamiento de la cubierta y fisuras, entonces el agua penetra a través de esas grietas y la humedad genera una mayor producción de gas, causando un mayor agrietamiento. La fuga de biogas acarrea trazas de compuestos carcinogénicos y teratogénicos que son incorporados al ambiente. Además dado que el biogas contiene un alto porcentaje de metano, existen riesgos de explosión o combustión.

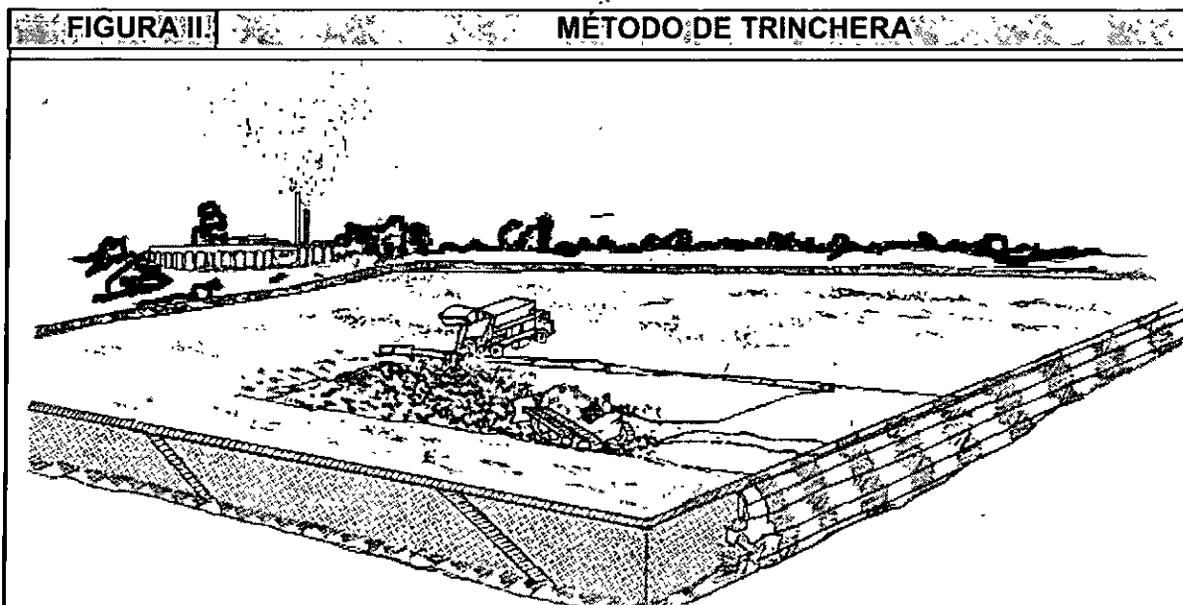


FIGURA II.4

METODO DE AREA

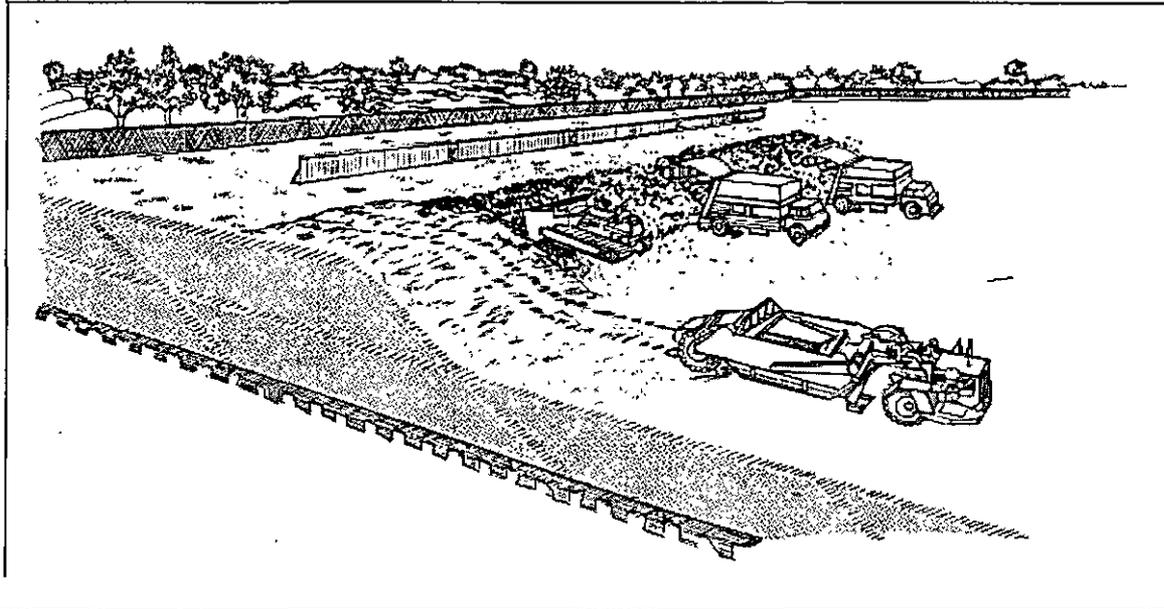
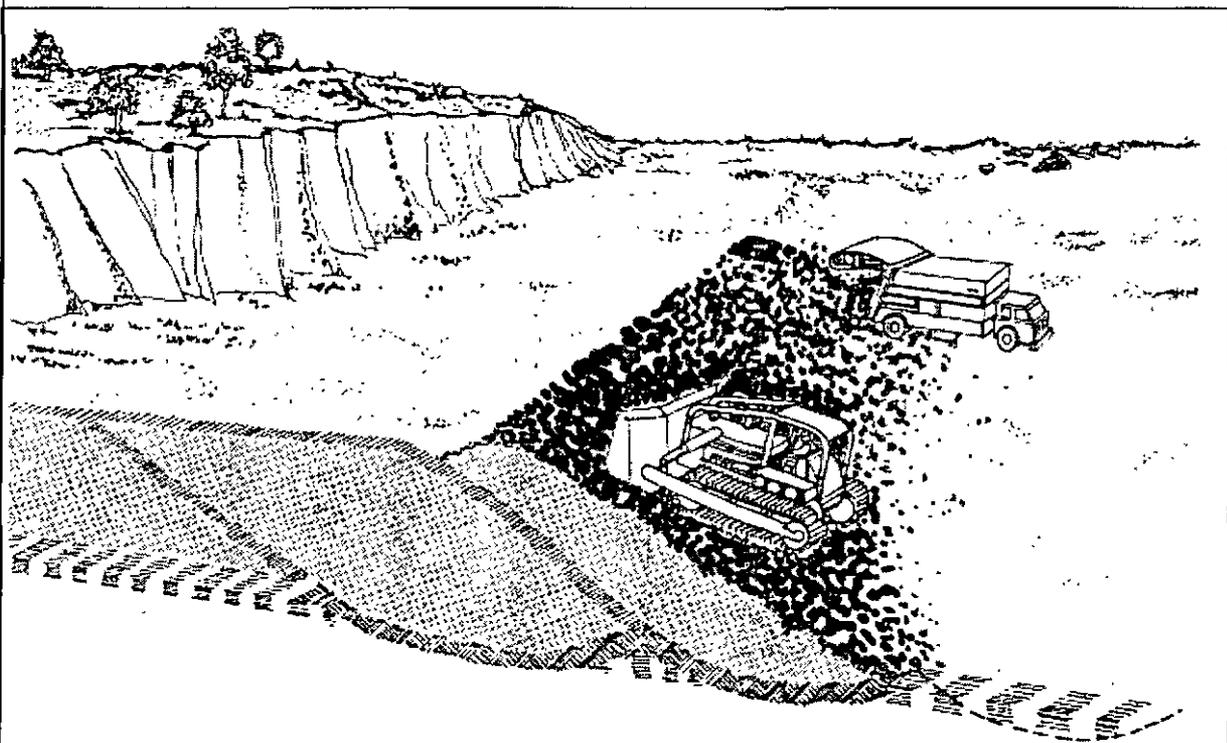


FIGURA II.5

METODO COMBINADO



Bibliografía: Tomado de: Manual para la Operación de Rellenos Sanitario. Ing. Heriberto Bárcenes Ramírez. Congreso AMCRESPAC. Querétaro, 2002.

III. PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN DEL RELLENO SANITARIO

III.1 PROCEDIMIENTOS DE DISPOSICIÓN DE RESIDUOS

Un relleno sanitario localizado y diseñado cuidadosamente puede convertirse en un tiradero a cielo abierto, si no es adecuadamente operado. Cada instalación destinada para relleno sanitario tiene características únicas que solo pueden ser aprendidas mediante el conocimiento, la experiencia y el continuo entrenamiento.

La operación y el mantenimiento adecuado de un relleno sanitario es necesario para:

- ◆ Evitar que el relleno sanitario se convierta en un tiradero a cielo abierto.
- ◆ Reducir los impactos negativos potenciales en aire, agua y suelo.
- ◆ Minimizar o eliminar los impactos hacia las propiedades adyacentes.
- ◆ Reducir los costos de operación (a largo plazo).
- ◆ Incrementar la capacidad volumétrica y ampliar al máximo la vida útil.
- ◆ Establecer y mantener buenas relaciones públicas.
- ◆ Reducir los conflictos con las instancias reguladoras o normativas.
- ◆ Reducir accidentes, demandas e indemnizaciones.
- ◆ Demostrar la capacidad operativa.
- ◆ Satisfacer las necesidades de disposición final de residuos sólidos de la región.

Los procedimientos de operación para un relleno sanitario pueden variar, dependiendo de diferentes factores, entre los que se puede citar el tipo de relleno, el clima, las cantidades, tipos de residuos por recibir, la regulación a nivel local, estatal etc. Sin embargo, se pueden establecer ciertas actividades que son muy similares para todos los sitios, como una guía para quienes deben encargarse de su adecuado funcionamiento (GRCDA, 1988).

III.1.1 Revisión del Plan de Relleno

Como punto de partida, se puede decir que cualquier relleno sanitario bien manejado debe contar con un plan de operación y desarrollo futuro. Esos planes definirán de manera clara y precisa, cómo se desarrollará un proyecto de relleno sanitario, abarcando desde la fase de construcción de la primer celda de residuos sólidos hasta la fase de la clausura final del sitio.

El plan de operación que normalmente se prepara dentro del proyecto de diseño, es un elemento básico para utilizarse como una primera fuente de información, sobre los aspectos técnicos del relleno y las actividades que se realizarán para su adecuada operación.

Considerando que la mayoría de los rellenos sanitarios que se proyectan en nuestro país, tienen una vida útil relativamente grande (generalmente más de 10 años), es necesario que el personal consulte regularmente el plan de operación, con la finalidad de que el responsable del relleno sanitario, tenga la plena certeza que las operaciones y el desarrollo del sistema se están realizando, conforme a las especificaciones establecidas en el mediano y largo plazo, o en todo caso, servirá para identificar el momento oportuno para modificar o adecuar los procedimientos de operación vigentes, principalmente pensando en los cambios que se requerirán conforme a los nuevas disposiciones legales que se promulguen. En este caso, es posible preparar una transición suave hacia un nuevo plan de operación acorde con los cambios actuales.

Las partes de un plan para la operación de un relleno sanitario contendrán como mínimo los siguientes aspectos:

- ◆ MANEJO DE RESIDUOS EN EL FRENTE.
- ◆ DIRECCIÓN DE FLUJO DEL TRÁFICO.
- ◆ EXCAVACIÓN, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN COTIDIANA DEL MATERIAL DE CUBIERTA.
- ◆ INSPECCIÓN DIARIA DEL SITIO Y MANTENIMIENTO.
- ◆ EL REGISTRO RUTINARIO DE LA CARGA CINGRESAN LOS VEHÍCULOS RECOLECTOR



III.1.2 Horario de Operación

Típicamente el horario de operación del relleno sanitario, será impuesto por el programa de recolección. Es posible, sin embargo que las prácticas de la recolección se acomoden a la operación del sitio. Generalmente los sitios de disposición final son abiertos de las 6 a.m. a las 6 p.m. Las horas de operación deben tomar en consideración las condiciones de tráfico local.

El horario de operación puede ser modificado, basándose en la cantidad de residuos sólidos por recibir durante una determinada época. Si el sitio no funciona durante las 24 horas del día, las básculas dejarán de operar temprano, de manera paulatina, para alcanzar a cubrir los residuos sólidos y limpiar. Es recomendable colocar contenedores en la entrada del acceso al relleno, para la recepción de pequeñas cantidades de residuos sólidos después de las horas de operación.

Es necesario que el personal llegue a las instalaciones temprano para preparar el equipo y el área de trabajo en donde se recibirán oportunamente a los vehículos recolectores. Algunos de las actividades importantes que hay que realizar para ello son: la reubicación de las mallas móviles para el control de materiales ligeros, mantenimiento preventivo del equipo, carga de combustible, preparación de las áreas de descarga y limpieza de los caminos internos (GRCA, 1988).

III.1.3 Control de Acceso y Operación de Báscula

La caseta de control y el área de pesaje representan la primera fase de las operaciones del relleno sanitario y constituye el principal control para:

- ◆ DETECTAR RESIDUOS SÓLIDOS PROHIBIDOS.
- ◆ LOCALIZAR IRREGULARIDADES EN LOS VEHÍCULOS.
- ◆ DIRIGIR LOS VEHÍCULOS AL ÁREA ADECUADA.
- ◆ COMUNICARSE CON EL CONDUCTOR.
- ◆ REGISTRAR LA ENTRADA DE LOS VEHÍCULOS.

Es indispensable que los rellenos sanitarios cuenten con un sistema de pesaje, dado que se debe conocer la cantidad de residuos sólidos que ingresan, con el fin de establecer parámetros de control de la operación, así como para la asignación de tarifas y cobros. Cuando no hay básculas, el chegador de acceso debe ser muy diestro en la determinación precisa del volumen de residuos en los vehículos, normalmente, debe contar con indicadores de capacidad de carga de cada tipo de vehículos, los cuales son generados con base en estadísticas de pesaje de vehículos en otros sitios.

El operador de la báscula registrará en la bitácora los datos de cada vehículo, pesarlo, registrar el peso de la tara (si se conoce), cobrar, generar facturas o recibos y documentos de pesaje, pesar los

vehículos después de la descarga para generar los pesos de tara y administrar esta parte de la operación. En el capítulo 7 del presente manual, se muestran formatos tipo para el registro del acceso y pesaje de los vehículos.

III.1.3.1 Detección de residuos prohibidos

Dado que no es posible separar los residuos que son transportados por los vehículos recolectores y/o de transferencia, en la entrada, la revisión del contenido de estos vehículos debe hacerse en el frente de trabajo. Otros tipos de vehículos, especialmente aquellos que no tienen una procedencia definida deben inspeccionarse en la entrada. Estos vehículos representan el grupo más sospechoso para el ingreso de residuos prohibidos al sitio.

Es recomendable que las listas de residuos no autorizados se actualicen de manera regular y entregarse a los controladores de acceso y del frente de trabajo, siendo opcional la entrega de dicho lista a los transportistas para una mejor comprensión de que residuos no pueden ingresar al sitio. Los vehículos que transporten residuos no autorizados deberán detenerse en la entrada y reportarse al residente del relleno para tomar las medidas a que haya lugar. La inspección directa de la carga contribuye a que el transportista sea más cuidadoso de los residuos que transporta y con ello minimizar la posibilidad del ingreso de residuos no autorizados de manera irregular.

III.1.3.2 Irregularidades en los vehículos

Algunas de las posibles violaciones que se pueden detectar en la entrada son:

- ◆ Cargas sin cubrir.
- ◆ Transporte de líquidos y su posible escurrimiento.
- ◆ Negligencia e incumplimiento de medidas de seguridad.
- ◆ Sobre peso en los vehículos.
- ◆ Otros.

Es conveniente para los responsables del sitio coordinarse con la policía municipal y otras instituciones encargadas de la aplicación de la legislación relativa al transporte, con el fin de asegurar que se cumpla con las disposiciones legales establecidas para evitar irregularidades en el peso, la cubierta de la carga del vehículo, el escurrimiento de líquidos; ya que de lo contrario se pueden originar problemas a la población aledaña a las vías de acceso al relleno, creando descontento y rechazo a la existencia del sitio de disposición final. Independientemente de lo anterior, se debe cuidar que dichas disposiciones se cumplan debido a que se puede poner en riesgo la seguridad de los mismos habitantes. La solución más efectiva a este problema es evitar el acceso de aquellos vehículos que no acaten dichas disposiciones.

III.1.3.3 Control de Tráfico

Hay rellenos que tienen varias áreas de operación. En ocasiones las áreas dependen del tipo de vehículos, tales como los de descarga automática contra los de descarga manual. En otros sitios el tipo de residuos, por ejemplo, residuos de jardinería, determinan a donde debe ir el vehículo. En la mayoría de los rellenos es una práctica de operación cambiar frecuentemente los frentes de trabajo en función de las condiciones del clima y otros factores. Adicionalmente a los señalamientos adecuados, el controlador de acceso o el operador de la báscula, deben proporcionar instrucciones verbales a los conductores, para agilizar las actividades y evitar confusiones.

Comunicación con el conductor

La mayoría de las operaciones en la báscula y el acceso dependen de la comunicación con los conductores de los vehículos. Los transportistas que ingresan por primera vez necesitarán ayuda para llegar al área de descarga, conocer el reglamento y los procedimientos del relleno, pago de las tarifas, etc. Los vehículos desconocidos deben chequearse para verificar que no están cometiendo irregularidades y sus conductores responder respecto al tipo de residuos que transportan. Esta es el área donde se deben checar los contenedores vacíos para certificar su lavado, contarlos o en todo caso para aprobar su descarga. Lo mismo se aplica para residuos especiales.

La caseta de control de acceso es el lugar donde se establece el trato directo con los usuarios del relleno sanitario. El trato debe ser amable y cortés, pero debe dejarse sentir que el sitio tiene reglas y procedimientos que deben seguirse. Los transportistas deben estar conscientes de que no tienen ningún otro derecho más que la descarga de sus residuos, previamente autorizada y su disponibilidad para el uso de la instalación depende del cumplimiento de todos los requisitos necesarios y del reglamento interior del relleno sanitario.

Registros

En la caseta de acceso o en la zona de pesaje se hacen y conservan todos los registros del relleno. El ámbito de esta actividad puede variar de un sitio a otro. La primer función del control de acceso es registrar la entrada y salida de los vehículos. Si es posible, se deben registrar las horas correspondientes. Particularmente en los sitios grandes, es importante saber que todos los vehículos han salido del relleno a la hora de cerrar. La conservación de los registros sobre el tiempo que tarda cada vehículo en revisión puede proporcionar criterios que puedan ser utilizados para mejorar la eficiencia de operación.

El control de planeación, presupuestos y costos requiere de registros exhaustivos y precisos. El peso de los residuos que ingresan al sitio constituye la estadística más importante. Todos los cálculos relacionados con los costos y la eficiencia se basan en esta cifra. El volumen de los residuos recibidos es insignificante para el cálculo de los costos relevantes, la eficiencia de operación, la vida útil esperada y otros parámetros importantes. El encargado del control generalmente debe registrar información sobre:

- ◇ Identificación del vehículo.
- ◇ Peso bruto del vehículo.
- ◇ Tara del vehículo (pesando directamente o de registros anteriores).
- ◇ Fecha y hora de entrada y salida.
- ◇ Tipo de residuos (domiciliarios, industriales, especiales, etc.).
- ◇ Cargos y facturación.
- ◇ Peso del material de cobertura importado.
- ◇ Cualquier información especial.

Estos datos deben resumirse y concentrarse para cada día. Se requieren reportes semanales, anuales o mensuales. La revisión rutinaria de estos registros en forma estadística pueden ayudar a los operadores en la planeación e implementación de los ajustes necesarios para la operación.

III.1.3.4 Recepción de Residuos

El residente del relleno debe ser capaz de distinguir entre los residuos no peligrosos que pueden ser aceptados en el relleno y los residuos que la Ley define como peligrosos. Para facilitar la toma de

decisiones y por lo tanto prohibir la entrada de residuos peligrosos al relleno, todos los rellenos deben operar bajo las siguientes condiciones:

- ◆ **El relleno debe aceptar únicamente:**
 - ◆ Los residuos sólidos considerados como no peligrosos por la legislación ambiental vigente. Si se trata de residuos especiales o industriales deben ir acompañados de un certificado de no peligrosidad, emitido por la autoridad competente.
 - ◆ En el caso de los residuos industriales, las pruebas de caracterización de un residuo en particular, podrán considerarse válidas durante un año contado a partir de la fecha de su realización, por lo que las cargas subsecuentes de residuos provenientes del mismo proceso podrán ser recibidas únicamente con una declaración del generador de que no se ha modificado el proceso empleado, o en las materias primas utilizadas en la instalación generadora del residuo.

 - ◆ **Cualquier tipo de residuo cuyo estado o clasificación no estén adecuadamente definidos, requiere de una aprobación por escrito, de la autoridad correspondiente, previamente a su aceptación.**

 - ◆ **También para el caso de los residuos especiales o industriales, el transportista deberá presentar además una declaración escrita de que los residuos transportados al relleno son los mismos recibidos del generador y que no se les han agregado materiales adicionales.**

 - ◆ **En ningún caso el relleno deberá aceptar residuos considerados como peligrosos por lo listados o las pruebas de laboratorio establecidas por la legislación ambiental vigente. De éstos, los que más comúnmente llegan a los rellenos son los siguientes:**
 - ◆ Cadáveres o partes de animales.
 - ◆ Residuos hospitalarios (contaminados).
 - ◆ Materiales altamente combustibles o explosivos (Gasolinas, aceites, etc.).
 - ◆ Excremento o estiércol sin previa estabilización biológica.
 - ◆ Residuos de procesos industriales.

 - ◆ **No se deben aceptar en el relleno líquidos, ni suelos o cualquier otro sólido con líquidos.**
 - ◆ **Tampoco es recomendable la aceptación de (Carroll, 1996):**
 - ◆ Residuos o materiales cuyo tamaño o peso excedan los límites y/o capacidades de los equipos utilizados para su manejo y disposición final.
 - ◆ Residuos de construcción, mantenimiento o demolición de obras civiles o generados por constructores o contratistas profesionales.
 - ◆ Partes y accesorios automotrices.

 - ◆ **Opcionalmente y dependiendo de las políticas del organismo responsable y/o de lo que establezca la legislación aplicable, se podrá restringir la recepción de (Carroll, 1996):**
 - ◆ Residuos generados fuera de la jurisdicción territorial de la entidad correspondiente.
-

- ◆ Llantas usadas, con diámetros mayores de 0.80 m. o montadas en el rin, así como en cantidades superiores a cuatro unidades por semana, para los particulares.
- ◆ Baterías automotrices o industriales.

III.1.4 Almacenamiento de Residuos en el Sitio

Aunque no es deseable, en algunos casos es necesario almacenar residuo, fuera de las áreas de relleno, principalmente debido a imprevistos o en otros casos porque no siempre es conveniente permitir el acceso hasta los frentes de trabajo a los pequeños generadores.

Debido a esto, es necesario establecer los lineamientos básicos para el almacenamiento temporal de residuos en el sitio de disposición final, con la finalidad de evitar que esta actividad perjudique el objetivo principal y la imagen del relleno sanitario. Con esta perspectiva se recomienda que el almacenamiento temporal de residuos sólidos en este tipo de instalaciones se realice conforme a los siguientes lineamientos:

- ◆ Se prohíbe la descarga de residuos sobre el suelo, fuera de los frentes de trabajo.
- ◆ En caso de no ser conveniente el acceso de los pequeños generadores a los frentes de trabajo, se deberá destinar un área para el almacenamiento de residuos y colocar contenedores con tapa para recibir sus residuos sólidos, estas áreas deben ser accesibles y estar cerca de la entrada del relleno, sin que obstruyan las vías de acceso.
- ◆ Esta área para almacenamiento deberá estar fuera de zonas de inundación y contar con los letreros y señalamientos alusivos a su función.
- ◆ El acceso a esta área sólo será permitido a los pequeños generadores que cumplan con los requisitos que establezca la administración del relleno.
- ◆ En esta área no se recibirán residuos diferentes de los aceptados por el relleno.
- ◆ No se permitirá que los contenedores sobrepasen su capacidad de almacenamiento.
- ◆ Los contenedores para almacenamiento únicamente podrán ser movidos durante las operaciones de recolección y limpieza.
- ◆ Deberá establecerse un programa de desalojo y limpieza frecuente para dichos contenedores.
- ◆ Los contenedores tendrán que ubicarse en áreas bien ventiladas y preferentemente a resguardo de los elementos climatológicos.
- ◆ Los residuos almacenados fuera de las áreas de relleno, no podrán permanecer así, por más de tres días.
- ◆ Los residuos de estas áreas, una vez recolectados o movidos de las mismas, no podrán ser descargados en áreas distintas al frente de trabajo del relleno.
- ◆ No se permitirá la selección de subproductos en las áreas de almacenamiento temporal.

III.1.5 Prácticas de Disposición de Residuos

Como se ha mencionado con anterioridad, existen dos métodos básicos para la operación de los rellenos sanitarios: el de Trinchera y el de Área. Otras opciones son simplemente modificaciones de los dos métodos anteriormente señalados. El método de trinchera es muy difícil de ejecutar, debido a que los diseños actuales demandan la implementación de un sistema de impermeabilización (natural o artificial) de la base del relleno y de sistemas de captación y desalojo de lixiviados. El método de área es actualmente el más utilizado, principalmente porque se adapta con mayor facilidad a la existencia de la infraestructura mencionada. En todo caso los diseños actuales, admiten excavaciones mayores para alcanzar la profundidad deseada y proceder a la construcción de sistemas de impermeabilización y captación de lixiviados, para posteriormente operar el sitio mediante el método de área.

La **celda** diaria constituye el elemento constructivo primario y común de cualquier relleno sanitario. En la **Figura III.1**, se muestra la morfología de la celda diaria, para una mejor visualización de la misma. Los residuos sólidos recibidos son esparcidos y compactados en capas dentro de un área perfectamente delimitada y hasta un volumen definido. Al término de cada día de operación, el área ya ocupada con residuos compactados, es cubierta completamente con una capa delgada de tierra, que posteriormente es compactada. De esta forma, los residuos compactados y cubiertos diariamente con este material, constituyen una celda. Una serie de celdas adyacentes en forma lateral o transversal y con una misma altura, forman una **franja**. Una serie de franjas adyacentes y con una misma altura, forman una **capa** y una o más capas, pueden formar el total del área de **relleno sanitario** o una **etapa** del mismo, como se ilustra en la **Figura III.1**.

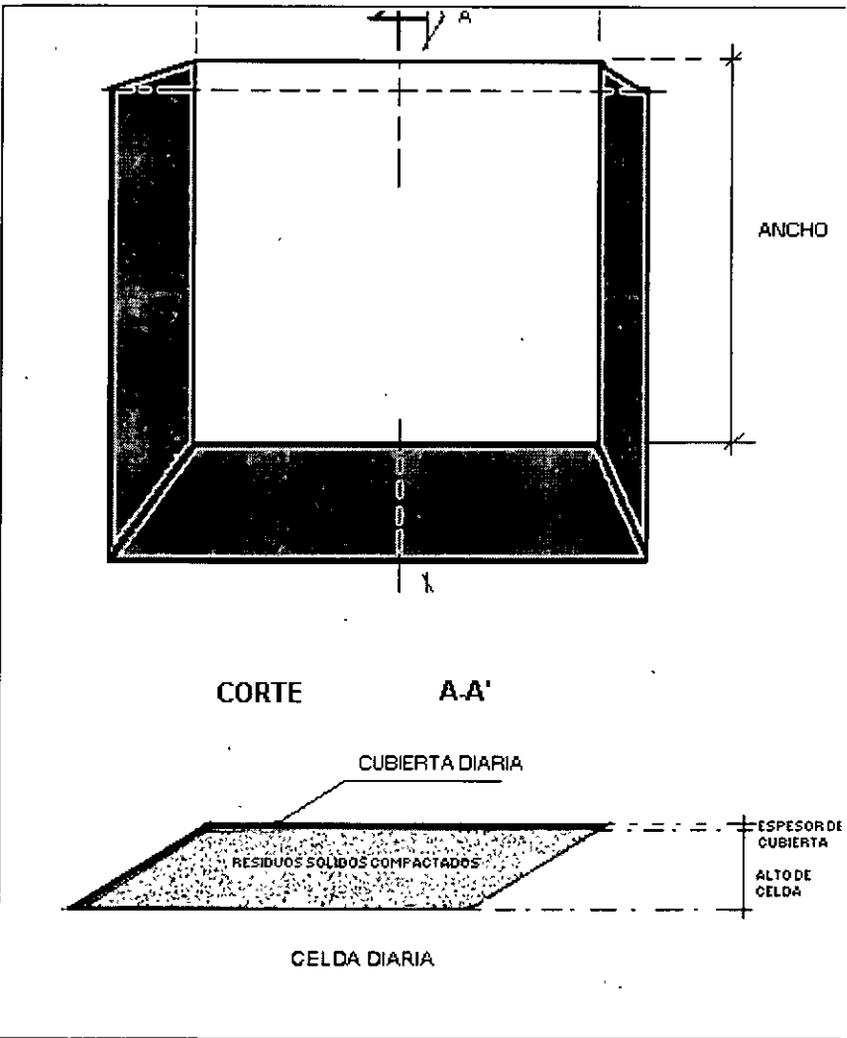
Cuando los residuos son confinados en una celda, las posibilidades de que se inicie fuego interno se reducen al mínimo, y en todo caso éste no puede propagarse fácilmente; la fauna nociva como roedores y moscas principalmente, no pueden tener acceso fácil a los residuos para conseguir alimento o madrigueras; también se reduce la cantidad de materiales expuestos a los elementos ambientales con lo que se minimiza la dispersión de residuos, microorganismos y polvos; al igual que se mitigan o eliminan olores y la producción de lixiviados, facilitando finalmente el control de los gases que emanan de las celdas del relleno.

III.1.5.1 Construcción de celda

Una celda es construida mediante la compactación de residuos sobre una pendiente en capas sucesivas del mismo espesor. Los residuos son depositados al pie del frente de trabajo y empujados sobre el talud. Los pasos adecuados para la construcción de la celda se describen a continuación:

- Descargar los residuos sólidos sobre el área que conformará el correspondiente frente de trabajo del día.
 - Usar estacas de nivelación para el control de la altura de la celda y dar la pendiente adecuada para facilitar el drenaje por gravedad. El nivel de la superficie superior de la celda debe ser entre **2 y 5** por ciento, mientras que la altura de celda comúnmente es de aproximadamente **2.4 a 3.5 m**.
 - Las dimensiones de la celda están especificadas en el proyecto y pueden consultarse también en el plan de relleno. Estas dimensiones deberán coincidir con el volumen de los residuos compactados en el sitio, al final del día de trabajo.
-

FIGURA III.1 MORFOLOGÍA DE LA CELDA DIARIA



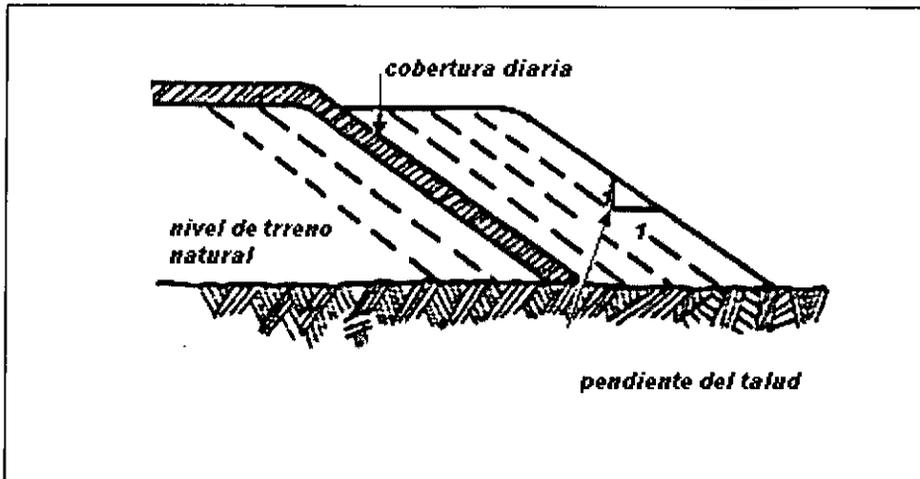
FUENTE: PRÁCTICA PROFESIONAL, INGENIERÍA PARA CONTROL DE RESIDUOS MUNICIPALES E INDUSTRIALES, S.A. DE C.V., MÉXICO, 1996

- ☑ Sin embargo, si por alguna razón no se conocen las dimensiones que deberá tener la celda o es necesario modificarlas de manera emergente, algunas recomendaciones útiles son las siguientes; a) el ancho del frente de trabajo depende del número de vehículos que transporten residuos al área de operación y la cantidad de equipo disponible para el esparcido y compactación. Por razones de seguridad, el ancho del frente de trabajo no deberá ser reducido a menos de tres veces el ancho de la hoja topadora del equipo utilizado y no debe exceder los **45 m**, ya que con dimensiones mayores llega a ser muy difícil de manejar, a menos que haya una gran cantidad de equipo disponible y que su operación sea supervisada estrictamente; b) en cuanto a la altura adecuada para las celdas no existe regla alguna, sin embargo, algunos diseñadores prefieren **2.5 m.** o menos, presumiblemente porque esta altura no causará problemas de asentamientos severos; c) la densidad recomendable para los residuos sólidos de una celda terminada es superior a **600 Kg/m³**.
- ☑ Esparcir los residuos sólidos en el frente de trabajo en capas de **0.30 a 0.60 m** de espesor (ver **Figura III.3**).
- ☑ Compactar los residuos sólidos con entre **3 y 5** pasadas sobre el talud.
- ☑ Una vez compactados los residuos del día, se descargan sobre los mismos el material para la **cubierta diaria**.
- ☑ Esparcir y compactar el material de cobertura, manteniendo un espesor mínimo de **15 cm**. Dependiendo del tipo de suelo de donde provenga el material de cubierta, puede requerir un espesor mayor. Por ejemplo, material suelto tal como la arena puede penetrar dentro de espacios abiertos en los residuos. Por esta razón si los residuos no son compactados adecuadamente se requerirá mayor cantidad de material de cobertura (**Figura III.3**).

En las **Figuras III.4 y III.5**, se ilustra y se presenta un flujograma de las actividades mínimas que se deben realizar para construir adecuadamente una celda de residuos sólidos,, componente elemental del relleno sanitario.

FIGURA III.2

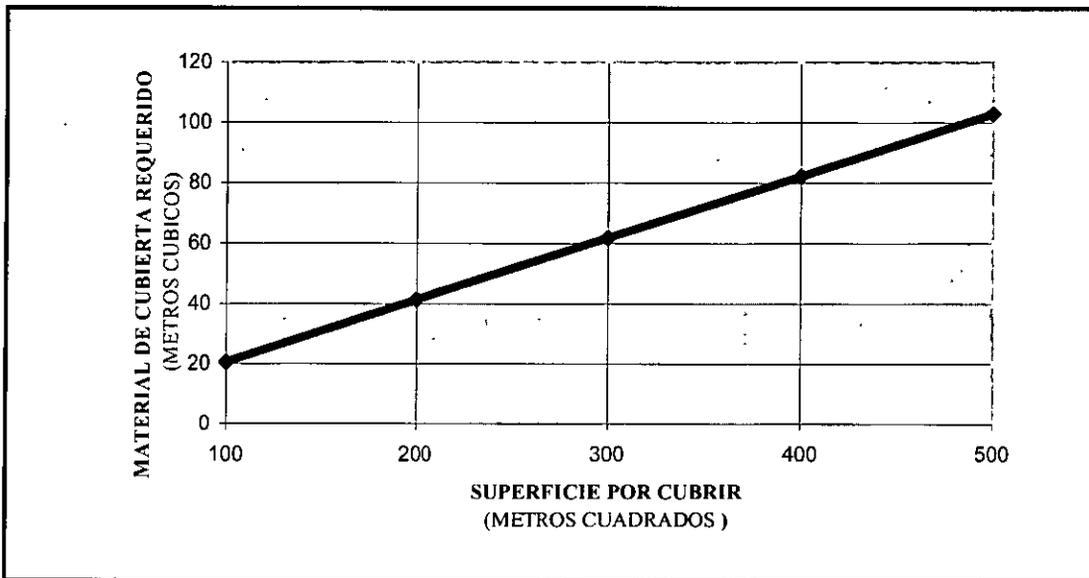
COMPACTACIÓN DE CAPAS DE RESIDUOS SÓLIDOS



FUENTE: Governmental Collection and Disposal Association, *Managing Sanitary Landfill Operation*, Silver Spring, USA, 1988.

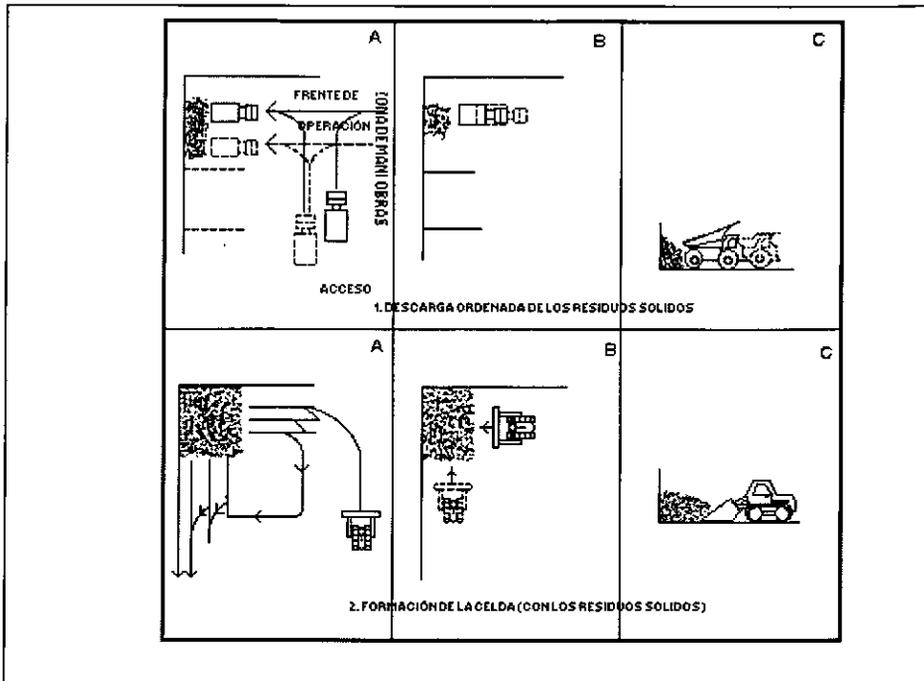
FIGURA III.3

CUBIERTA DIARIA



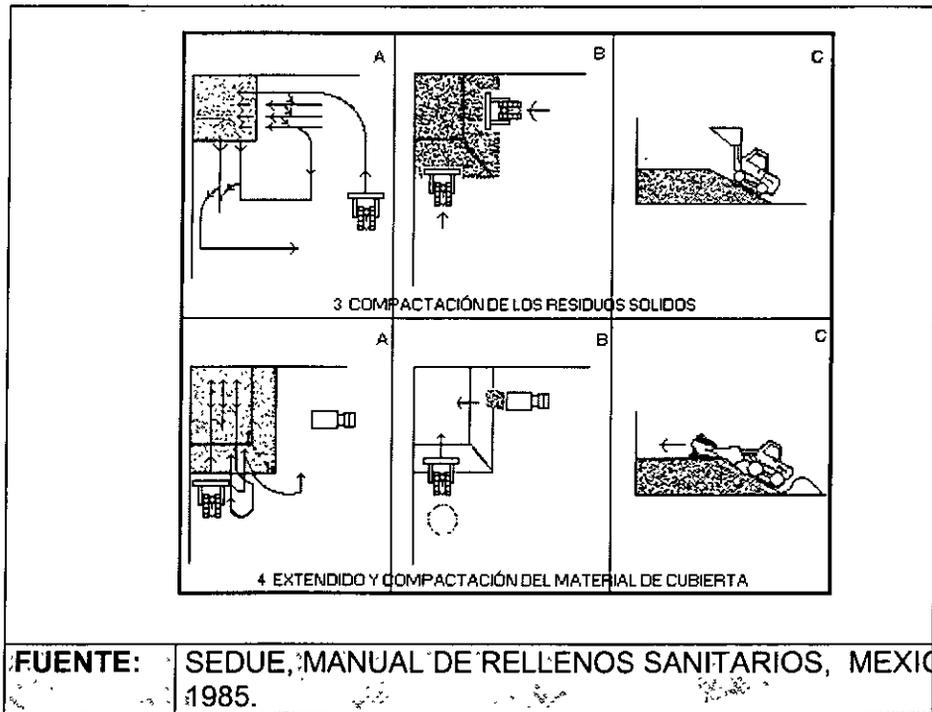
FUENTE: SWANA, *Training Sanitary Landfill Operating Personnel*, 1993.

FIGURA III.4 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE CELDA DIARIA (A)



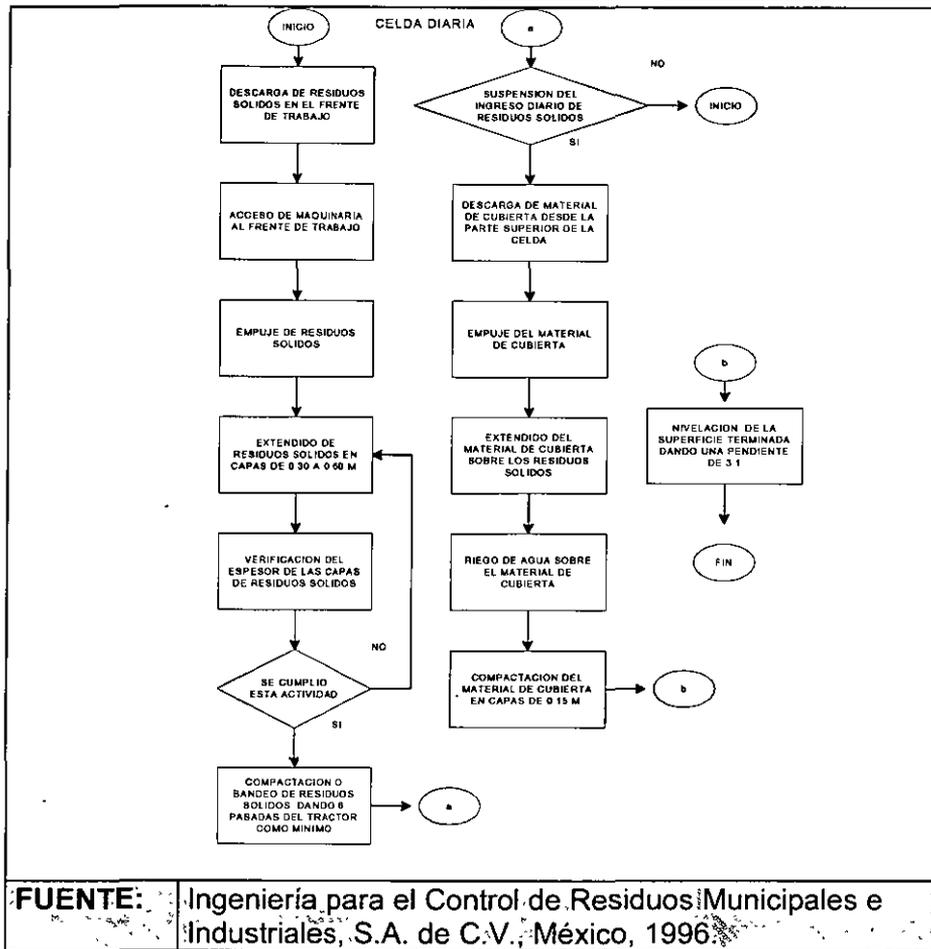
FUENTE: SEDUE, MANUAL DE RELLENOS SANITARIOS, MEXICO 1985.

FIGURA III.4 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE CELDA DIARIA (B)



FUENTE: SEDUE, MANUAL DE RELLENOS SANITARIOS, MEXICO 1985.

FIGURA.III.5 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE CELDA DIARIA



FUENTE: Ingeniería para el Control de Residuos Municipales e Industriales, S.A. de C.V., México, 1996.

III.1.5.2 Cobertura

Cubierta Intermedia.

La superficie que envuelve la celda diaria terminada y que estará expuestas al ambiente por un periodo de más de una semana, hasta que se coloque una nueva celda sobre ésta, sufrirá los efectos de las condiciones climatológicas y posiblemente el frecuente paso de vehículos. Normalmente estas superficies son cubiertas adicionalmente, con una capa de **0.30 m** de espesor de tierra compactada. A esta capa se le conoce como cubierta intermedia y tiene la función de proteger a la cubierta diaria y prevenir la intrusión de agua al relleno por un periodo más largo.

Para la colocación de la cubierta intermedia, se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Una vez que se tiene una superficie rellena, ya sea una franja o una capa, en la cual no se tenga previsto depositar residuos sólidos por un tiempo largo; se descargará sobre la cubierta diaria, el material para la conformación de la cubierta intermedia.
- Esparcir y compactar el material de cobertura, manteniendo un espesor mínimo de 30 cm.

Cubierta final

Cuando el relleno ha alcanzado el nivel planeado, se deberá colocar una cubierta final de no menor de **60 cm** de espesor. Esta cubierta es necesaria para permitir el tráfico ligero y minimizar los efectos que ocasionan los asentamientos diferenciales, tal como el afloramiento de residuos por el efecto de fracturas y agrietamientos. Esta cubierta, también ayudará a evitar que la lluvia fluya hacia el interior de los residuos confinados:

- Una vez que se tiene una área de una capa, etapa o la totalidad del relleno, terminadas; descargar sobre el área por cubrir, el material para la cubierta final.
- Posteriormente, se extenderá el material y se compactará el material de cobertura, manteniendo un espesor mínimo de **30 cm**.
- Esparcir y compactar el material de cobertura, manteniendo un espesor mínimo de 60 cm.

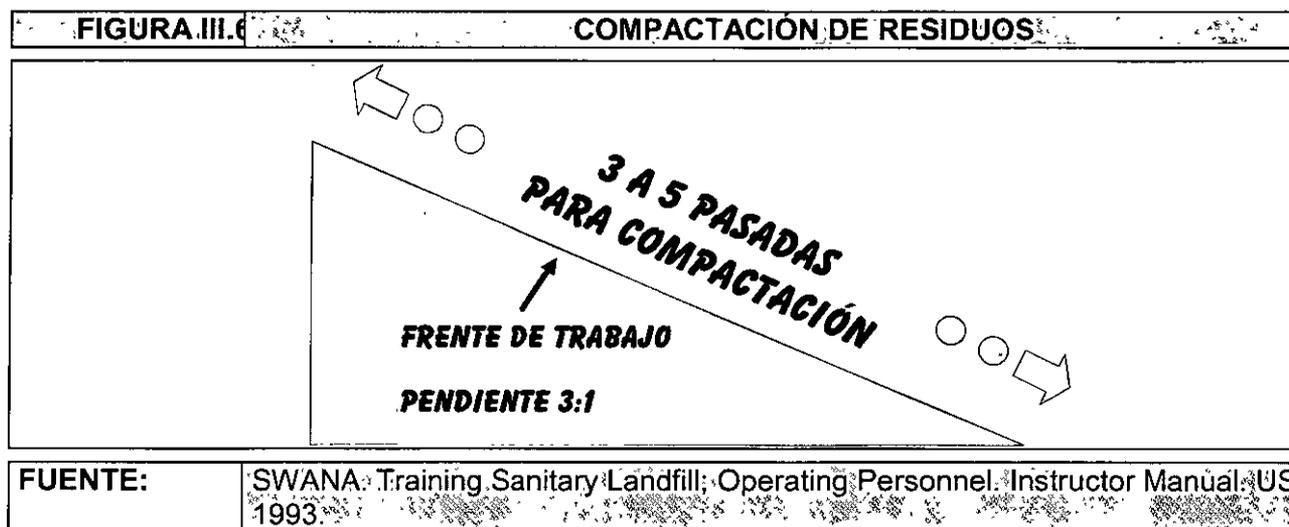
Hay algunas tendencias hacia el uso de geosintéticos como parte de la cubierta final. Para ello es necesario considerar factores de diseño muy especiales que aseguren el funcionamiento efectivo de dicha cubierta.

III.1:5.3 Prácticas de operación recomendables

A continuación se presenta una serie de recomendaciones para lograr una efectiva operación del relleno sanitario:

- No se debe realizar disposición alguna cuando no este presente un supervisor. El sitio debe ser cerrado cuando no se cuente con el personal suficiente para la prestación del servicio.
 - Mantener el menor ancho posible en el frente de trabajo.
 - Mantener una separación de **2.5 a 3.0 m** entre los equipos de compactación y los vehículos recolectores o de transferencia.
 - Todos los residuos recibidos en el relleno deben ser dispuestos sanitariamente y no deberá exceder un periodo de 48 horas después de su ingreso.
 - Los residuos deben trabajarse inmediatamente después de ser depositados en el frente de trabajo y no permitir que se acumulen en montículos o que únicamente los residuos se conformen de una a dos veces por día.
 - Para asegurar el máximo aprovechamiento de la capacidad del relleno, la residuos deben vaciarse en la base de la celda o rampa de disposición y trabajarse en ese mismo nivel. Este "fondo de descarga" reduce las posibilidades de esparcimiento de papeles debido al viento, permite máxima compactación y mejora el control de los residuos. Otra ventaja es que cuando los residuos están depositados en un área pequeña, también es menor la cantidad de material de cubierta que se utiliza.
 - Los residuos deben ser esparcidos en la superficie del frente de trabajo en capas de entre 30 y 90 cm.
 - Nunca se debe depositar residuos en el frente de ataque de aquellas áreas, en donde se estén efectuando maniobras de excavación.
-

- ☑ Los residuos esparcidos en el frente de trabajo se deben compactar conforme a los requerimientos de compactación establecidos en el proyecto ejecutivo y en concordancia con el plan de operación (generalmente con un mínimo de cuatro pasadas es suficiente, si la compactación se realiza con tractores de rueda metálica o de cadenas).
- ☑ Los residuos son manejados eficientemente, si éstos son esparcidos sobre un talud 3:1, utilizando maquinaria sobre orugas; pero se pueden obtener excelentes resultados en superficies planas, si se trabaja con equipo con ruedas dentadas. Utilizando un talud con determinada pendiente, se favorece el ahorro de material de cubierta, así como un menor tiempo en el extendido y compactado de los residuos. Sin embargo, la pendiente excesiva en los taludes (taludes mayores de 3 :1), se obtiene una menor compactación (Ver **Figura III.6**).
- ☑ Una vez que se ha cargado, mediante el equipo de movimiento de tierras, una cantidad de material de cubierta, no deberá descargarse en ningún lugar hasta que se defina el lugar en donde se colocará.
- ☑ El material de cobertura se debe humedecer lo suficientemente para lograr la compactación adecuada, además para controlar el arrastre del material por efecto del viento. Ahora bien, se debe tener cuidado de dosificar el agua necesaria para lograr el objetivo propuesto; pero se debe tener mucho cuidado de no agregar agua en exceso, debido a que se generan problemas de atascamiento y/o escurrimientos que afectan las propiedades de la cubierta de material generándose problemas operativos.
- ☑ Es recomendable remover cualquier acumulación de agua pluvial sobre las superficies rellenas, dentro de un período de 72 horas, después de haber identificado dicho problema.



- ☑ Cuando se presentan lluvias de alta intensidad sobre el frente de trabajo, el agua acumulada debe ser bombeada hacia los canales de agua pluvial o fuera del sitio, antes de proceder a la descarga de residuos sólidos.
- ☑ Todas las depresiones que aparezcan sobre las superficies ya trabajadas, deben ser rellenas lo más pronto posible, para evitar la acumulación de agua y de esta forma minimizar la posibilidad de infiltración de agua hacia los estratos inferiores.

- La aceleración de la degradación de los residuos depositados en el relleno, mediante la adición de microorganismos o enzimas con acción específica, solamente tendrá sentido, si se cuenta con un plan bien definido que establezca la ubicación del área designada para este programa, composición del o los aditivos, método, cantidad y frecuencia de aplicación, así como las medidas de seguridad requeridas.
- Si por alguna razón se reciben residuos especiales o industriales (aún siendo no peligrosos), deberán disponerse separadamente de los residuos de origen municipal. No debe haber disposición conjunta.

III.1.6 Segregación de Residuos en el Sitio

La pepena o selección no controlada e informal de los residuos que llegan a los sitios de disposición final, para recuperar materiales que pueden ser reutilizados, es una práctica común en la mayoría de los municipios de nuestro país. En los rellenos modernos y en general a nivel internacional, esta práctica está prohibida en el frente de trabajo, principalmente debido a que representa un alto riesgo para la salud y la seguridad de los pepenadores o segregadores e interfiere con las actividades normales del frente de trabajo.

Cuando las necesidades o los requerimientos legales lo lleguen a exigir, se deberá realizar esta actividad en un sitio alejado del frente de trabajo y bajo la supervisión directa del personal operativo del relleno, confinándose en un área específica del sitio, de tal forma que no interfieran con la operación del relleno. En todo caso, se deberán establecer controles estrictos acerca de los tipos de materiales a separar o pepenar, su almacenamiento temporal y sus frecuencias de remoción, con la finalidad de que no se generen situaciones molestas para la imagen y operatividad del sitio.

El problema de separar esta actividad, de la operación formal del sitio, es que se agrega un pas intermedio ya que los residuos que llegan al sitio deberán ser descargados en el área de pepena y posteriormente los residuos remanentes deberán ser transferidos al frente de trabajo del relleno. En este sentido, es preferible que el área de pepena se localice cerca del frente de trabajo, para facilitar el traslado de los residuos de un sitio a otro. Esto significa que sería preferible tener un área de pepena móvil. Pero por supuesto que los dos sitios no deben estar lo suficientemente cerca uno del otro, como para interferirse mutuamente. Si se dispone de equipo de transporte suficiente, para los residuos provenientes del rechazo de esta actividad, se puede establecer un área de pepena fija para el resto de la vida útil del sitio. Este tipo de áreas fijas no son factibles para los rellenos pequeños.

Realizar la pepena en un área fija puede ser ventajoso, ya que se puede proteger el área de los elementos del ambiente (lluvia, viento, etc.) y su operación se puede hacer en forma más segura, ordenada y eficiente. Por supuesto en este caso, otra desventaja puede ser la necesidad de invertir en infraestructura y/o equipo adicional.

Sería recomendable que las personas que trabajen en estas áreas estén provistas de uniformes, cascos, mascarillas y botas, así como contar con los servicios sanitarios básicos para ello (Calrecovery,1994).

III.1.7 Uso Efectivo de Maquinaria

La construcción de un relleno sanitario requiere de equipo pesado, conforme al grado de dificultad que presente el sitio para ello. Generalmente, este elemento de trabajo resulta ser una fuente importante en las inversiones destinadas al control de los residuos sólidos y por lo tanto, su uso efectivo es vital para el desarrollo eficiente de las operaciones en el relleno sanitario. La operación y el mantenimiento

del equipo ocupan una lugar clave en los costos asociados con la operación de los sistemas de disposición final. Por tal razón, la adecuada selección del equipo por utilizar, debe realizarse de manera racional y tomando en cuenta el método de operación y las condiciones reales de trabajo a las que estarán sujetas.

Las funciones básicas del equipo para un relleno sanitario caen dentro de las siguientes categorías:

- ◆ Preparación del sitio incluyendo desmonte y despalde.
- ◆ Compactación y manejo de residuos.
- ◆ Excavación, transporte y aplicación de cubierta diaria.
- ◆ Esparcimiento y compactación de la cubierta final.
- ◆ Funciones de apoyo.

Con base en el tamaño de la instalación, el mismo equipo puede ser utilizado en más de una de las tres categorías. La versatilidad se convierte en una consideración esencial para la selección de equipo en situaciones en las cuales será utilizado para más de una sola función.

III.1.7.1 Funciones relativas al suelo

La excavación, el manejo y la compactación de los suelos utilizados como sistema de impermeabilización o material de cobertura son los aspectos que deben considerarse cuando se determinan las funciones del equipo para el relleno. Los procedimientos y equipos utilizados para estas actividades difieren solo ligeramente de los utilizados para otras operaciones de movimiento de tierras. En consecuencia, el grado de mecanización y sofisticación del equipo disponible para el relleno sanitario, en una situación dada, no diferirá marcadamente de las actividades que son características en las operaciones de movimiento de tierras. Esta limitación se extiende a las variaciones en los procedimientos y requisitos específicos que se tienen que reunir, debido a las condiciones topográficas y características específicas del suelo. Por ejemplo, los equipos de ruedas, generalmente son eficientes para la excavación de suelos en los que predominan la arena, lagrava, las arcillas limosas y los limos arcillosos. Por otra parte el equipo con cadenas o rieles es recomendable para trabajos en sitios que presentan problemas de accesibilidad y materiales difíciles de manejar. Otras variantes pueden ser de tipo estacionales. Si los suelos se van a mover en distancias menores a 100 m, los cargadores y bulldozers pueden servir perfectamente para ese propósito. Para distancias mayores se deben utilizar otros equipos.

III.1.7.2 Funciones relativas a los residuos

Las funciones del equipo relacionadas con los residuos sólidos son el empuje, extendido, compactación y cobertura.

La función de compactación demanda atención total debido a sus efectos a muy corto y largo plazo sobre la operación del relleno y la velocidad y extensión de los asentamientos, principalmente porque tiene una influencia importante en la capacidad del relleno (**Figura 7**). El equipo pesado especialmente diseñado para la compactación es aparentemente más efectivo y eficiente que el equipo ligero diseñado especialmente para el movimiento de tierras. Sin embargo, el peso puede ser significativamente compensado, incrementando el número de pasadas de equipo ligero sobre los residuos. El número de pasadas necesarias para obtener la compactación suficiente requerida también depende del contenido de humedad y de la composición de los residuos.

El equipo para el relleno debe ser resistente porque las condiciones para su uso se encuentran muy lejos de las ideales. Los radiadores presentan una alta frecuencia de saturación con partículas, lo que

los daña considerablemente y el cuerpo y las partes operativas del equipo pueden dañarse por los residuos protuberantes o voluminosos. Las llantas, aún las de uso rudo, pueden resultar pinchadas o cortadas, reduciendo su vida útil.

III.1.7.3 Funciones de Apoyo

Con respecto a las etapas inicial y subsecuentes de construcción del relleno, se necesitará equipo de apoyo para la instalación de los sistemas de control ambiental tales como las geomembranas impermeables y cubiertas, las instalaciones para el manejo de lixiviados y los venteos para gas.

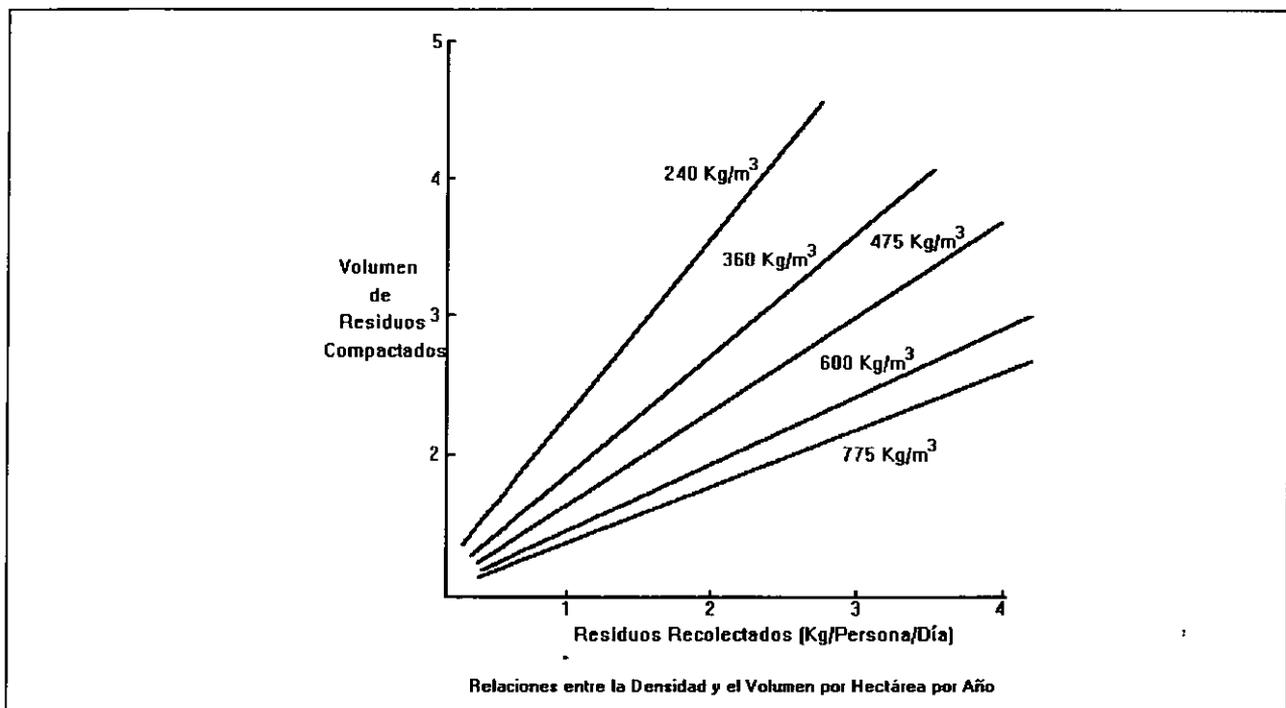
Las funciones de apoyo durante la fase de operación incluyen la extensión y el mantenimiento de los caminos hasta el frente de trabajo del relleno, control de polvos y combate de incendios. A menos que los vehículos de recolección y transporte estén equipados con sistemas de autodescarga, el equipo de soporte puede ser requerido para ayudar en la descarga. Si el trabajo es abundante la descarga se puede complementar manualmente. Este sería el caso con los vehículos de recolección más viejos. Generalmente algunas de las funciones de apoyo (tales como la ampliación y el mantenimiento de caminos) pueden ser realizadas durante la fase de operación mediante la maquinaria utilizada para la distribución y compactación.

Algunos aspectos especiales sugeridos para aplicarse en la operación de rellenos sanitarios son:

- La descarga se debe realizar a corta distancia del frente de trabajo, evitando que los vehículos recolectores y de transferencia interfieran con la actividades de la maquinaria pesada.
- Cercado completo de las máquinas (lateralmente y en la parte superior);
- Resguardar carters;
- Proteger el radiador;
- Instalar alarmas;
- Montar guardias;
- Resguardar furgones vacíos (cargadores y tractor con cuchilla);
- Limpiadores anteriores y posteriores;
- Sistema para detectar en las máquinas baja presión de aceite y alta temperatura del agua; pesada carga de aire del sistema de limpieza;
- Ruedas especiales para compactación de rellenos, reemplazare, (en compactadores);
- Extinguidor
- El desmonte se realizará por etapas para no favorecer las tolveneras.
- Uso de Tractores de Cadenas

FIGURA III.7

DENSIDAD Y VOLUMEN EN EL RELLENO



FUENTE: CalRecovery, Inc., Handbook for the Design of Sanitary Landfills in Developing Countries, 1995.

III.1.7.4 Descripción y especificaciones de diferentes tipos de equipo

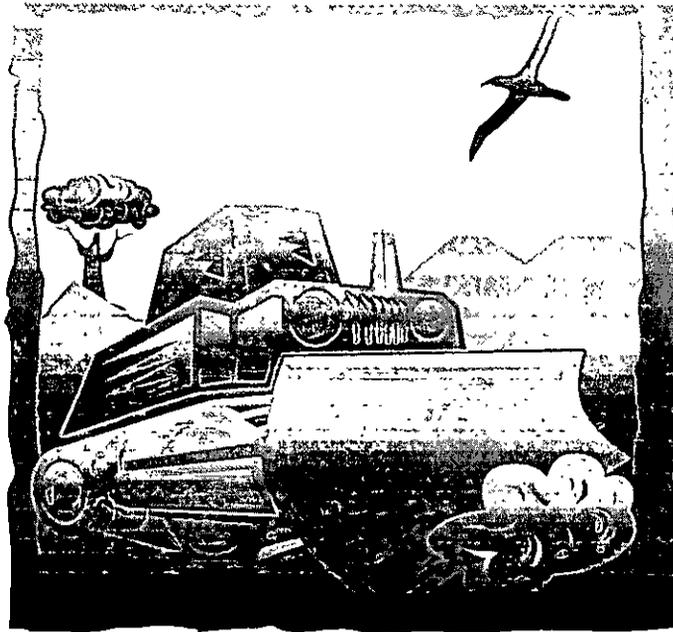
Los factores que serán considerados en esta sección están muy relacionados con las características y tipos del equipo de movimiento de tierras. Un factor importante en la selección del equipo es la posibilidad de que la máquina realice funciones múltiples, para ello es necesario considerar la función y capacidad de cada una de las piezas del equipo, bajo las condiciones reales del sitio. Para la selección del equipo se tomarán en cuenta las características del suelo, la topografía, las condiciones climatológicas, así como las características cuantitativas y cualitativas de los residuos, sin olvidar las restricciones presupuestarias.

Tipos de Equipo.

Buldozers o Tractores de Orugas con Hoja Topadora

Función: Distribuir y compactar los residuos sólidos, así como realizar la preparación del sitio, suministrar la cubierta diaria y final y trabajos generales de movimiento de tierras.

Figura III.8 TRACTOR DE ORUGAS Y HOJA TOPADORA



FUENTE: INCREMI, S.A. DE C.V., 1996.

Características: Los bulldozers están equipados con orugas metálicas de anchos variables especificados, tales como 457 mm, 508 mm, 559 mm y 610 mm. Las orugas deben ser lo suficientemente altas como para permitir una buena reducción de tamaño de los residuos y evitar posibles deslizamientos. La presión descargada sobre los residuos se obtiene distribuyendo el peso de la máquina sobre la superficie de contacto. La **Tabla III.1**, presenta algunos valores típicos para esta máquinas.

| DESCARGA DE PRESIÓN A LOS RESIDUOS | | | |
|---|---|--|------------------------------------|
| TABLA III.1 | | | |
| Potencia (HP) | Peso (Kg) | Area de Contacto con los Residuos | Presión (Kg/cm²) |
| 140 | 11,750 | 2.16 | 0.54 |
| 200 | 16,100 | 2.76 | 0.53 |
| 300 | 24,770 | 3.19 | 0.78 |
| FUENTE : | CalRecovery, Inc., Handbook for the Design of Sanitary Landfills in Developing Countries, 1995. | | |

El grado de compactación de los residuos depende de la presión ejercida. Como se mencionó anteriormente, a menor espesor de capa de residuos, mayor compactación. Las máquinas con orugas no son muy eficientes en la compactación de los residuos sólidos, debido a su baja presión sobre el suelo.

Para obtener una máxima eficiencia de las máquinas con orugas, es muy importante que estén equipadas con hojas topadoras adecuadas. La densidad de los residuos sólidos es aproximadamente tres veces menor que la del suelo; por lo tanto es posible incrementar la capacidad de la hoja. La capacidad de la hoja se puede aumentar mediante el incremento de su altura, utilizando una malla de acero. Ésta evita la interferencia con la visibilidad del operador.

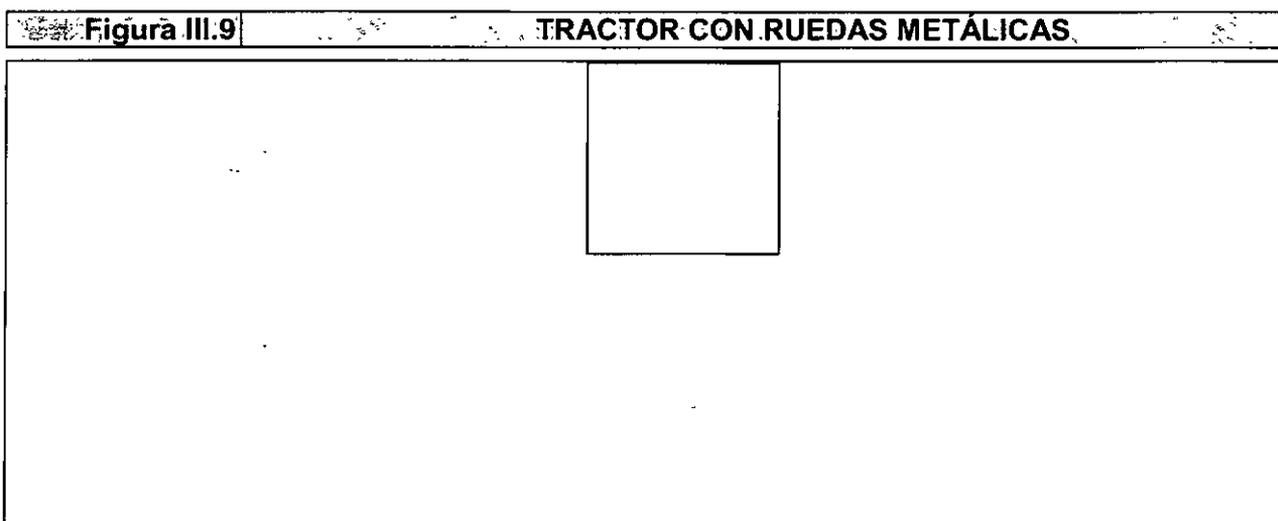
Las dimensiones de la hoja varían con cada modelo. Por ejemplo una máquina típica de 140 HP, sobre superficies planas, tiene un rendimiento de 50 toneladas de residuos sólidos por hora. Ahora bien

sobre superficies inclinadas el rendimiento de éste equipo disminuye a 30 toneladas por hora, en una pendiente del 30 %.

Compactados con Ruedas Metálicas

Función: Extendido y compactación de residuos sólidos.

Características: Los compactadores están equipados con máquinas diesel tanto turbo como estándar. Las ruedas metálicas tienen generalmente dientes en forma de "V" invertida y alternados que le permiten concentrar el peso sobre una superficie de contacto más pequeña (comparada con una máquina de orugas) y ejerciendo una mayor presión sobre los residuos sólidos. La **Tabla III.2**, presenta algunos valores de presiones promedio para dos distintas potencias de ésta maquina.



FUENTE: INCREMI, S.A. DE C.V., 1996.

| | | |
|----------------------|---|------------------------------------|
| TABLA III.2 | DESCARGA DE PRESIÓN A LOS RESIDUOS | |
| Potencia (HP) | Peso (Kg) | Presión (Kg/cm²) |
| 150 | 16,000 | 75 |
| 175 | 26,000 | 120 |

FUENTE: CalRecovery, Inc., Handbook for the Design of Sanitary Landfills in Developing Countries, 1995.

Los compactadores son más versátiles y rápidos que los bulldozers. Un modelo típico de 150 HP tendría una productividad de aproximadamente 75 toneladas por hora en superficies planas. La productividad disminuye alrededor de 50 toneladas por hora para superficies de 30% de pendiente.

Los compactadores con ruedas de acero están equipados con hojas controladas por un sistema hidráulica. La hoja tiene una rejilla metálica adicional para aumentar su capacidad. Las dimensiones de la hoja son las siguientes:

- Ancho: 3.04 m
- Altura (con rejilla): 1.88 m

Cargadores de Neumáticos

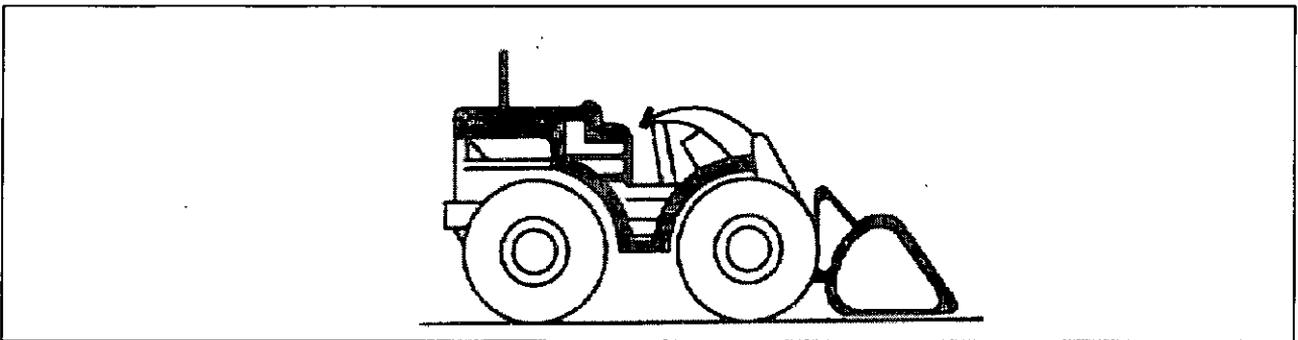
Función: Para excavar suelo suave (por ejemplo, suelos que presentan poca resistencia), cargar material excavado a los camiones y pick-ups o para transportar ese material a distancias no mayores a 50 ó 60 m, para una eficiencia óptima (Ver **Figura 10**).

Características: Los cargadores de neumáticos generalmente están equipados con máquinas diesel y dirección en las cuatro ruedas. El eje frontal es fijo y el trasero puede oscilar. Los modelos varían en potencia, en un intervalo entre los 65 HP y los 375 HP. La capacidad del cucharón varía de 0.8 m³ a 6 m³. Los modelos más comúnmente utilizados son de alrededor de 100 HP a 150 HP. En la **Tabla III.3**, se presentan algunas características de estos modelos:

Sobre suelo suave, una máquina de 130 HP con una capacidad de cucharón para 1.91 m³ será capaz de excavar y cargar un camión de volteo a una velocidad de alrededor de 160 m³/hora de trabajo. En suelo duro, la producción disminuye y esta máquina probablemente necesitará ser reemplazada por una más adecuada para realizar la excavación.

Los cargadores de neumáticos también son aptos para realizar eficientemente trabajos relacionados con las operaciones del relleno sanitario.

Figura III.10 CARGADOR DE NEUMÁTICOS



FUENTE: INCREMI, S.A. DE C.V., 1996.

TABLA III.3 CARACTERÍSTICAS DE CARGADORES DE LLANTAS

| Potencia (HP) | Peso (Kg) | Capacidad de Cucharón (m ³) |
|---------------|-----------|---|
| 100 | 9,280 | 1.34-1.72 |
| 130 | 11,550 | 1.72-2.68 |

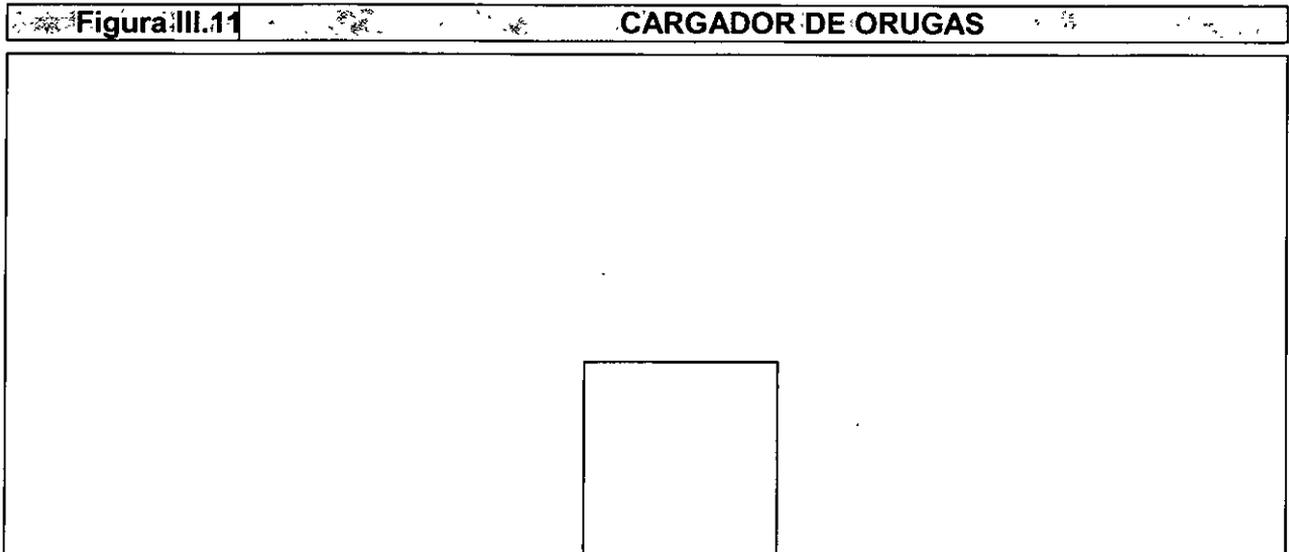
FUENTE: CalRecovery, Inc., Handbook for the Design of Sanitary Landfills in Developing Countries, 1995.

Cargadores de Orugas

Función: Estas máquinas pueden desarrollar funciones similares a las de los cargadores de neumáticos. Los cargadores de orugas también son recomendables para excavar suelo macizo o duro. Su distancia óptima para transporte de materiales no debe exceder de los 30 m.

En casos de emergencia, los cargadores de orugas pueden utilizarse para el manejo de residuos sólidos (extendido y compactación). También pueden ser utilizados para conformar y nivelar la cubierta de las celdas.

Características: Los cargadores de orugas están equipados con máquinas diesel, con intervalos de potencia entre los 65 HP y los 275 HP. En la **Tabla III.4**, se presentan algunos valores típicos de estos equipos.



FUENTE: INCREMI, S.A. DE C.V., 1996.

TABLA III.4 **CARACTERÍSTICAS DE CARGADORES DE ORUGAS**

| Potencia (HP) | Peso (Kg) | Area de Contacto con los Residuos | Capacidad de Cuchar (m ³) |
|---------------|-----------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 95 | 12,340 | 1.54 | 1.34 |
| 130 | 13,700 | 1.79 | 1.34-1.74 |
| 190 | 21,300 | 2.48 | 1.90-2.48 |

FUENTE: CalRecovery, Inc., Handbook for the Design of Sanitary Landfills in Developing Countries, 1995.

El cucharón de este tipo de cargadores, se opera fácil y rápidamente mediante un mecanismo hidráulico. Se obtiene una mejor eficiencia y flexibilidad en este equipo, cuando cuenta con un cucharón multiusos. Este tipo de cucharón se adapta a diferentes operaciones conforme a la posición en la que se opera.

El cucharón tiene una sección estacionaria y otra móvil. El movimiento puede ser controlado por el operador con el mismo sistema de control. El cucharón puede actuar como; cargador, empujador, excavadora o dragadora.

La versatilidad de este tipo de equipos se requiere en el relleno sanitario especialmente cuando la disponibilidad de equipo es limitada.

Excavadoras de Orugas.

Función: Para excavar el suelo y cargar vehículos de transporte, así como para aplicar la cobertura diaria o primaria de los residuos sólidos (en el método de Trinchera). Este equipo también puede ser utilizado bajo ciertas premisas en el movimiento de tierras.

Características: La excavadora está equipada con una máquina diesel y un sistema hidráulico para el control de los brazos de carga y del cucharón.

El tiempo del ciclo de excavación depende del tamaño del equipo y de las condiciones del sitio. Así, cuando la excavación es más difícil o la trinchera más profunda, el procedimiento de excavación será lento. La literatura comercial disponible en el mercado de los diferentes fabricantes indica el cálculo o la estimación del tiempo para el ciclo, de acuerdo con el modelo de equipo y las condiciones particulares de cada sitio (tipo de suelo y profundidad de excavación).

La profundidad de excavación (medida desde el nivel del suelo) depende del alcance de los brazos de carga. En la **Tabla III.5**, se presentan algunos valores típicos de estos equipos.

| TABLA III.5 | | CARACTERÍSTICAS DE EXCAVADORAS DE ORUGAS | | |
|---------------|----------|--|--------------------------|-------------------------------------|
| Potencia (HP) | Peso (K) | Longitud del Brazo Carga (m) | Capacidad d Cucharón (m) | Profundidad Máxima d Excavación (m) |
| 135 | 22,680 | 2.44 | 0.75 | 6.4 |
| 195 | 34,020 | 2.90 | 1.18 | 7.3 |
| 325 | 56,200 | 3.20 | 1.94 | 8.5 |

FUENTE: CalRecovery, Inc., Handbook for the Design of Sanitary Landfills in Developing Countries, 1995.

III.1.7.5 Procedimientos básicos para uso eficiente

Tractores

Los tractores de tipo dozer son las piezas más versátiles para aplicación en rellenos sanitarios. Las máquinas pueden esparcir, compactar, cubrir los residuos sólidos y también puede utilizarse en la preparación de sitios, excavación de material de cubierta, construcción caminos y limpieza de terrenos. Son apropiados para cualquier tamaño y método de relleno

Para obtener una operación eficiente es necesario mantener el tractor de cadenas empujando el mayor volumen posible, sin que se afecte su funcionalidad y desempeño.

El tractor de cadenas, excava y transporta con mucha mayor eficacia hacia abajo que en terreno a nivel o cuesta arriba, y debe procurarse que el trabajo se realice cuesta abajo.

Cuando se acarrea material que se sale a los lados de la hoja, debe detenerse o remplazarse para mantener una carga completa.

Se puede reducir el material que cae por los lados haciendo la excavación con dos tractores de cadenas colocados uno al lado del otro, con las hojas tocándose, de manera que no se pierda materia' por el espacio que queda entre ellos.

Para extender materiales o basura, la hoja se mantiene un poco elevada de la superficie original, para que la tierra pueda deslizarse debajo de ella en una capa pareja sobre la que pueda caminar el tractor. Se puede extender una capa delgada al grado deseado, pero las capas gruesas deben hacerse más gruesas para tomar en cuenta su compactación. Si no hay material o basura suficiente enfrente de la hoja para que alcance hasta el extremo de la superficie que se va a cubrir, se ahorra tiempo suspendiendo el empuje tan pronto como la carga se haga ligera, regresándose por más. La siguiente carga de la hoja se empujará por el mismo lugar y puede tomar fácilmente el resto de la carga anterior. Conviene variar el recorrido usado para distribuir, porque es más fácil conservar la rasante si no se forman los camellones altos.

La mayor parte de las excavaciones con el tractor de cadenas se hacen con movimientos de vaivén, con la máquina puesta en una dirección a través de la excavación, dividiendo el ciclo de excavación, acarreo y extendido del material. Es así porque las distancias cubiertas son generalmente muy cortas y las vueltas, especialmente en tierra blanda, toman tiempo y destruyen la conformación, por lo que resulta más rápido y más fácil regresar al corte que dar dos vueltas para poder usar una velocidad mayor. En los acarreos de 30 m o mayores pueden resultar mejor las vueltas a menos que la máquina tenga una reversa muy rápida.

Los tractores de cadenas se pueden emplear en laderas con taludes moderados y, los modelos que tienen orugas anchas, hasta en las inclinadas a 20° o más. Sin embargo, corren mucho riesgo de volcarse, a menos que se tenga cuidado. Las máquinas pueden con seguridad subir y bajar pendientes fuertes. Las pendientes muy fuertes de 25° o más, deben de subirse de frente y no de reversa, debido al mejor equilibrio y tracción.

Cargadores

La mayoría de la excavación la hace el cargador con la parte inferior del cucharón horizontal o inclinada ligeramente hacia abajo. Esta posición da la máxima penetración en los bancos y en los lugares altos, y abre un sendero uniforme sobre el cual pueden caminar las orugas.

La cantidad recogida en el cucharón varía con la naturaleza del material, la pendiente del banco, la superficie sobre la cual se camina, y la pericia del operador. El mantenimiento de un ciclo rápido es usualmente más importante que la obtención de cargas máximas en cada pasada. A medida que la distancia del punto de la descarga aumenta, la capacidad de las cargas se vuelve más importante que el tiempo utilizado para obtenerlas.

La carga es más rápida si el camión está tan cerca de la excavación que la máquina tenga apenas espacio cómodo para virar.

III.1.8 Inspección y Supervisión

La inspección y la supervisión en un relleno sanitario son actividades orientadas para asegurar que la operación se realice de manera óptima y en consecuencia evitar problemas económicos, sociales, técnicos y/o ambientales.

Si en el relleno sanitario no se efectúa una buena supervisión y un adecuado mantenimiento, se corre el riesgo que se caiga en la práctica como si se tratará de un tiradero a cielo abierto, con sus inconvenientes.

La supervisión, se debe entender como la acción de observar un trabajo determinado con el propósito de que éste se realicen correctamente. Por otro lado, la inspección, básicamente es la acción de observación para confirmar que un determinado trabajo se realizó adecuadamente, una vez terminado éste.

Las actividades dentro de la **supervisión** son:

- Verificar que se respete el horario de operación, en caso de no respetarse esto, determinar áreas de descarga para evitar que se haga en lugares no apropiados.
 - Hacer visitas aleatorias al lugar donde se lleve a cabo el control de acceso, verificando que éste se realice adecuadamente, a fin de asegurar que tengan acceso sólo los camiones y personas autorizados.
 - Verificar que en el registro de entradas y salidas se anoten los siguientes datos: lugar de procedencia, número de placas, número económico, hora de ingreso, tipo de camión y peso bruto; usando para ello formatos adecuados.
 - Supervisar el control de la calidad de los residuos sólidos que ingresan al sitio, a fin de asegurar que no se reciban residuos industriales o peligrosos. Esto se realizará mediante visitas aleatorias al área de acceso y observar los registros de entradas y salidas.
 - Verificar el funcionamiento y la operación de la báscula para camiones. Realizando visitas aleatorias y comprobando con un peso de referencia conocido el ajuste correcto de la báscula.
 - Vigilar con especial cuidado el procedimiento de pesaje de los vehículos recolectores y los de material de cubierta, para detectar los errores posibles.
 - Revisar que los vehículos, al llegar al patio de maniobras, sean orientados para descargar lo más cerca posible al frente de trabajo; y que el patio esté organizado y limpio.
 - Verificar que la orientación del tráfico y descarga, en el patio de operaciones, sea la más adecuada para evitar pérdida de tiempo.
 - Verificar que se realice un buen mantenimiento de las herramientas, equipos y dotación de implementos de protección de los trabajadores.
 - Verificar que el frente de trabajo este en condiciones operativas en todo momento, aún cuando se presenten lluvias intensas.
 - Vigilar que el drenaje en el frente de trabajo sea inmediato y se conduzca al sistema de desagüe.
 - En caso de operación nocturna, observar que el frente esté iluminado.
 - Revisar que las celdas por construir cada día, sean identificadas por medio de estacas que fijarán los límites de las mismas, éstos límites serán indicados a los operadores de los tractores.
 - Vigilar que se compacten correctamente los residuos y el material de cubierta.
 - En caso de requerirse, para el pago de los equipos, ver que se lleve a cabo un registro de horas máquina efectivas.
 - Observar que los camiones no tiren residuos en su tránsito por el relleno sanitario sino hasta el frente de trabajo.
 - Supervisar que los operadores lleven a cabo la limpieza de sus unidades en la zona destinada para ello, dentro de la misma celda, para no demorar la descarga.
 - Verificar la ejecución del programa del uso de la maquinaria, del llenado de celdas y del diseño de frentes de operación con base en el número de vehículos en un tiempo determinado.
 - Ver que continuamente se riegue la zona de tránsito con aceite quemado o agua tratada, para disminuir las tolveneras.
 - Observar que se rellenen los baches.
 - Presentar un informe completo, con conclusiones, de todas las observaciones hechas durante un período determinado de tiempo.
-

Las actividades de **inspección** son:

- Verificar que la zona de paso de los vehículos sea lo más firme posible para evitar que se atoren y obstruyan el acceso al frente de trabajo.
- Observar el buen estado de los caminos interiores y de acceso al relleno sanitario, verificando que se lleve a cabo su limpieza y mantenimiento.
- Verificar que el tamaño, distribución, forma de las celdas y material de cubierta correspondan a lo señalado en el proyecto y las especificaciones. Realizando nivelaciones en: los caminos de acceso, el piso natural, y las celdas terminadas.
- Observar que no hallan grietas en las celdas.
- Revisar que las vías de acceso, patio de maniobras, redes de drenaje pluvial y superficie terminada del relleno, se mantengan en buenas condiciones operativas.
- Verificar que la báscula adquirida sea lo más adecuada posible a las condiciones del sitio y que su instalación sea conforme a las recomendaciones del fabricante y los ingenieros.
- Vigilar constantemente que no existan incendios en el relleno sanitario, en caso de que se presenten, la zona deberá ser considerada como de emergencia y el incendio tendrá que ser controlado y abatido inmediatamente por medio de arena o material de cobertura.

III.1.9 Controles físicos del sitio y control de la operación

En estas instalaciones es importante tener un buen control tanto del sitio como de su operación, con la finalidad de poder asegurar que no se causarán molestias a los habitantes más cercanos o a las personas en tránsito por esa zona, ni al ambiente.

Los responsables de la operación de los rellenos sanitarios, serán los encargados de velar por el control de estas instalaciones y sus procedimientos operativos. Las practicas que ellos sigan determinarán el grado de alcance en la protección ambiental y a la salud humana.

III.1.9.1 Control de humedad

La importancia del control de entrada de líquidos al interior de las áreas de relleno generalmente se subestima. Es responsabilidad del operador, manejar el sitio de tal modo que se controle al máximo la entrada al de humedad hacia las celdas de relleno.

El control de la humedad se puede lograr mediante :

- La obtención del máximo peso volumétrico en los residuos sólidos depositados.
- La construcción del relleno de tal manera que se alcance la elevación máxima y la aplicación del material de cubierta final, en el menor tiempo posible (desarrollo vertical acelerado).
- Favoreciendo los escurrimientos.
- Controlando las depresiones en las superficies del relleno.

III.1.9.2 Control de residuos sólidos

El control de los residuos que ingresan a relleno sanitario inicia antes de que éstos sean captados por los vehículos de recolección. El operador debe conocer a quienes están transportando residuos al relleno sanitario y tener información de la fuente y las características de los residuos recibidos en el sitio. Los residuos no autorizados por los instrumentos legales vigentes, no deben ser admitidos en

ninguna de las instalaciones de relleno sanitario. Es la responsabilidad del operador identificar las fuentes prohibidas y restringir su ingreso.

En los rellenos sanitarios, la disponibilidad de espacio es vital, por lo que, una vez que los residuos sólidos son depositados en el frente de trabajo, es responsabilidad del operador, obtener la máxima densidad para los residuos depositados dentro de un lugar específico, para aprovechar al máximo dicho espacio. La máxima densidad debe ser alcanzada mediante el confinamiento, compactado y cobertura de los residuos, siguiendo las prácticas recomendadas en la sección 4.1.6. de este mismo manual.

III.1.9.3 Controles adicionales de la operación

La densidad se puede incrementar por el paso frecuente del tráfico vehicular sobre las áreas rellenas.

La sobrecarga de áreas rellenas, con bancos de material de cubierta, también ayudará a la compactación.

III.1.9.4 Ingreso de residuos

La complejidad de la operación de un relleno sanitario, estará en función del tipo de residuos que reciba. A continuación se describe la atención que se requiere, cuando por causas de fuerza mayor, es necesario recibir y disponer residuos especiales:

a. Residuos Voluminosos

Incluyen aparatos eléctricos, muebles, troncos de árbol etc. Estos residuos deben manejarse de la siguiente manera:

- disponerse en un área separada del área principal de trabajo.
- descargarse en el pie de talud y compactar otros residuos alrededor de ellos.
- compactar los objetos voluminosos en suelo firme, para incrementar la compactación.
- recuperar y revender chatarra.

b. Residuos Infecciosos

- Los residuos infecciosos requieren una aprobación especial para su manejo y disposición final. Deberá contarse con la misma, antes de iniciar su depósito.
 - Preferentemente, deberán ser incinerados o esterilizados previamente a la disposición para eliminar los agentes patógenos; y
 - Disponerse en un área separada del área principal de trabajo.
 - No practicar la disposición conjunta.
 - En caso de que por alguna circunstancia se tengan que recibir residuos sin esterilizar, deberá aplicarse un método de disposición que garantice la seguridad laboral y pública durante las actividades de relleno. Todo bajo estricta autorización y supervisión de la autoridad correspondiente.
 - Cubrir inmediatamente para prevenir contaminación o separación de subproductos.
-

c. Animales Muertos

En los sitios de disposición final de nuestro país es común que lleguen animales muertos a las áreas de relleno. Esto es debido principalmente a que nuestra legislación no define en forma clara los métodos y procedimientos para su manejo y eliminación. Por tanto en algunas ocasiones será necesario recibirlos y los procedimientos recomendados para su manejo dentro del relleno son:

- Las mascotas domésticas, pueden enterrarse conjuntamente con los residuos sólidos.
- Los animales mayores deberán disponerse en un área separada del área principal de trabajo.
- Cuando por causas de fuerza mayor, se depositen los animales grandes con los residuos sólidos, será necesario cubrir con un espesor mínimo de 0.30 m de material de cubierta.
- Los animales grandes deben ser enterrados a 0.90 m de profundidad como mínimo, para evitar que otros animales los descubran.
- Es recomendable colocar los cadáveres de animales en bolsas de plástico antes de enterrarlos.

d. Recipientes de Plaguicidas

Los recipientes de plaguicidas solamente podrán aceptarse en cantidades pequeñas y bajo la autorización y supervisión de la autoridad correspondiente, siempre que cumplan con lo siguiente:

- Deberán estar vacíos y haber sido enjuagados tres veces como mínimo.
- Deben recibirse por separado para inspeccionarlos.
- Remover el fondo de los recipientes o perforarlos en diferentes partes.
- Disponerse conjuntamente con otros residuos.

e. Asbestos

Para los asbestos se debe seguir un procedimiento especial y también contar con la autorización y supervisión de la autoridad competente. A continuación se presenta el procedimiento recomendado:

- Deberán envasarse en recipientes o bolsas perfectamente cerrados, las cuales pueden ser fácilmente verificados;
- Los materiales voluminosos deben ser humedecidos y cubiertos antes de ser transportadas al relleno sanitario;
- La velocidad del viento no debe exceder los 16 Km./h durante la disposición de estos materiales.
- Los materiales se depositarán en un área separada o bien al pie del talud del frente de trabajo y se cubrirán inmediatamente con residuos sólidos manteniendo por lo menos un espesor de 0.15 m.

f.- Llantas

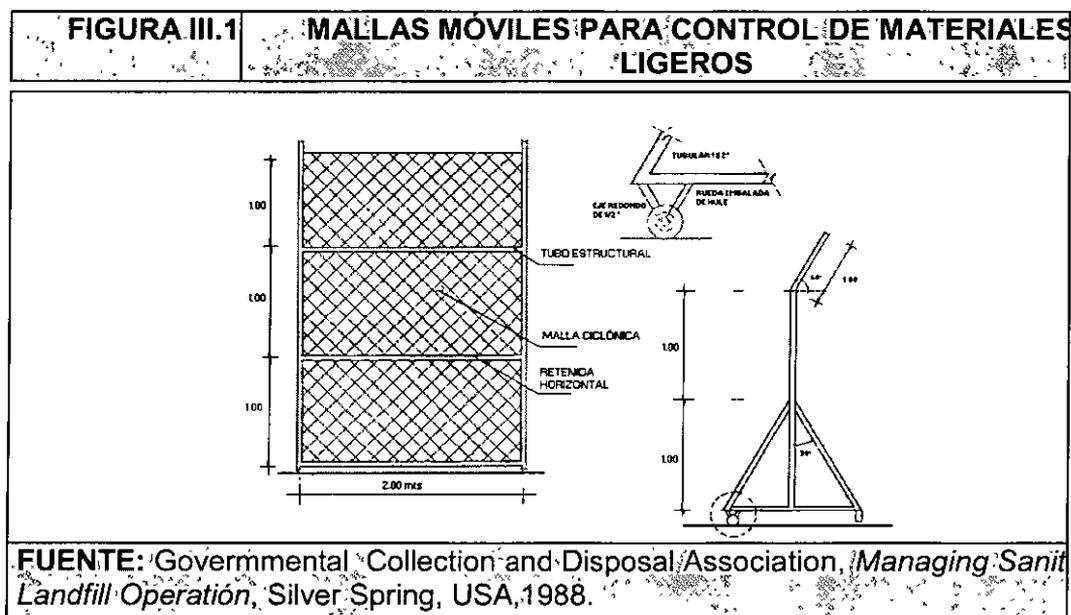
Las llantas crean problemas en la operación del relleno sanitario. Para su disposición adecuada, se recomienda lo siguiente:

- Colocarlas en la base del frente de trabajo y posteriormente compactar los residuos sólidos encima de ellas.
- Las llantas almacenadas deben ser retiradas del área de relleno activa.
- Cortar o triturar las llantas antes de descargarlas en el frente de trabajo.
- Se debe establecer tarifas especiales para el manejo de llantas.

g. Materiales Ligeros

Estos materiales (papeles, plásticos, etc.), cuando no son manejados apropiadamente, pueden dispersarse a los alrededores del sitio de disposición final. Para su control se recomienda aplicar los siguientes procedimientos:

- Caja abierta: exigir el uso de cubiertas (lonas), en aquellos vehículos de caja abierta.
- Condiciones de viento: cambiar el frente de trabajo hacia áreas protegidas, usar bardas perimetrales y móviles, plantar arboles que actúen como barreras rompedoras de viento (**Ver Figura III.12**), depositar los residuos en el piso, empujarlos sobre el talud, compactarlos y cubrirlos y cerrar aquellas áreas o sitios que llegan a ser inmanejables.



- Técnicas de Operación: cubrir pronto y adecuadamente las celdas diarias, compactar los residuos conforme llegan, depositar los residuos al pie de talud de la celda diaria, empujar los residuos sobre la pendiente controlar la velocidad del tractor, mejorar la compactación y aplicar la cubierta diaria. No aceptar materiales o residuos pulverizados en los días de mucho viento.
- Actividades de Descarga : pedir a los transportistas que tomen menos tiempo en salir del sitio.
- Colección de Materiales Ligeros : es importante que se recolecten los materiales ligeros dispersos dentro del sitio, porque pueden ser arrastrados nuevamente hacia afuera. Es mucho más fácil su control en la fuente, pero cuando ésto no es posible se puede realizar en el perímetro del sitio. Así.

el control resultará en menor tiempo de desgaste, que si los ligeros estuvieran esparcidos en áreas colindantes al sitio.

Los métodos de recolección de materiales ligeros contemplan bastón paplero, barrido y aspirado.

h. Polvos

Dentro de las medidas de control para polvos, se incluyen:

- Caminos: En caminos transitables en toda época del año (asfaltados) únicamente dar mantenimiento permanente. En caminos de terracería aplicar cloruro de calcio en proporción de 220 a 450 gramos por metro cuadrado sobre el suelo previamente humedecido con agua. (más del 30 % de humedad).
- Actividades de movimiento de tierras: no existen controles específicos que regulen ésta actividad para reducir los posibles impactos fuera del sitio.
- Depósito, esparcido, compactación y cobertura de residuos : mojar las áreas de trabajo para reducir el impacto hacia el exterior del sitio durante condiciones de estiaje o tolveneras o de fuertes vientos
- Viento: éste actúa en la cubierta final y en áreas aparentemente terminadas. Para su control se recomienda plantar árboles que sirvan como una barrera, con el propósito de reducir su velocidad (también reduce la visibilidad del sitio).

i. Olores.

Los olores normalmente son estacionales por naturaleza y pueden ser controlados a través de:

- La colocación de una cubierta sobre aquellos residuos que han alcanzado un estado avanzado de descomposición; si éstos requieren un manejo especial, se recomienda descargarlos y cubrirlos inmediatamente. El plan de control en las áreas de trabajo dependerá de la dirección del viento. Finalmente, es posible el uso de sustancias químicas para enmascarar los olores en casos especiales, sin embargo, éste método es muy caro y no siempre el más efectivo.
- El adecuado venteo del biogas.
- La colección, minimización y tratamiento de lixiviados.

j. Ruido

El ruido puede ser controlado mediante:

- El adecuado manejo de las fases de operación para crear una zona o barrera de amortiguamiento entre la fuente y el receptor.
 - Mantenimiento adecuado del equipo.
 - Regular las horas de operación de tal forma que sean compatibles con los usos del suelo adyacente.
-

-
- Distancias apropiadas.

k. Insectos

- Los insectos básicamente incluyen moscas y mosquitos, aunque solamente a éstos. Los problemas potenciales de insectos son principalmente la transmisión de enfermedades, mala imagen y molestias a los habitantes cercanos.

El control de insectos puede ser realizado por :

- La cobertura oportuna de los residuos, para poner fuera de su alcance el alimento, el refugio y las áreas para su reproducción.
- Aplicación de soluciones insecticidas, sobre los residuos descargados en el frente de trabajo.

l. Roedores

Los roedores pueden provocar enfermedades, daños a la propiedad, y contaminación de alimento.

El reconocimiento de la presencia de roedores es a través de la inspección de las diferentes áreas del relleno y la identificación de:

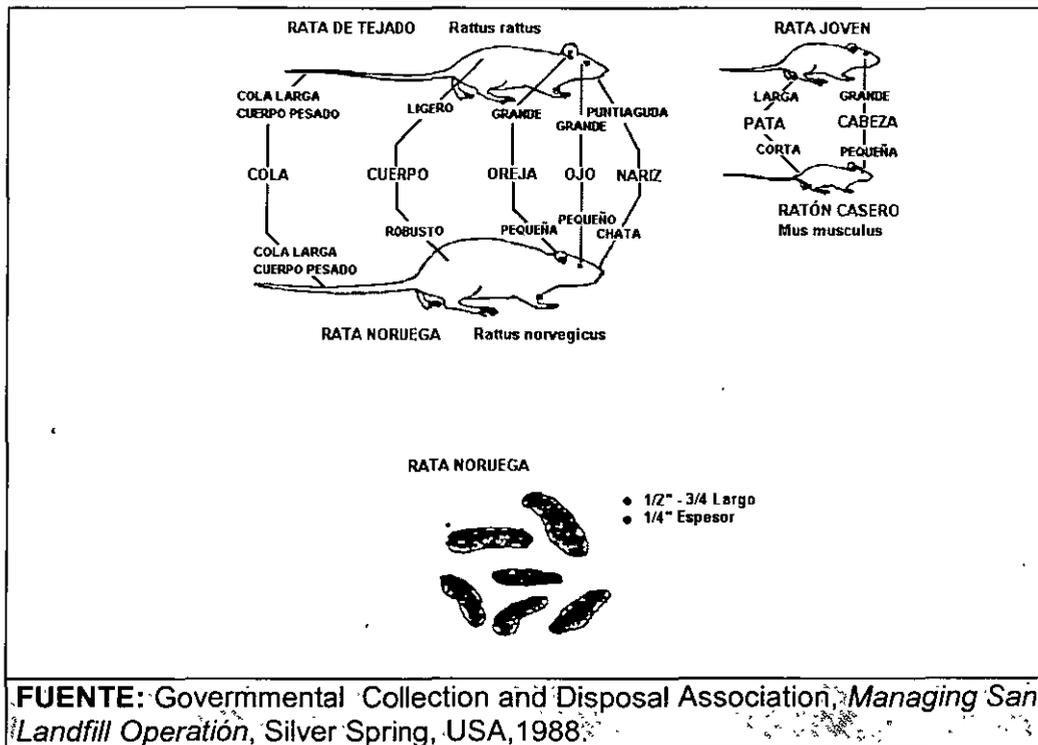
- excrementos
- madrigueras
- hoyos en construcciones y bermas del relleno
- materiales roídos.
- observación directa de los roedores.

Los roedores, usualmente no son visibles durante las horas normales de trabajo. Si son observados, es un indicador de una severa infestación en el sitio. La **Figura III.13**, puede ser de ayuda para identificar su tipo.

Los procedimientos recomendados para el control de roedores son los siguientes:

- La cobertura oportuna de los residuos.
 - Contratar a expertos en eliminación de plagas.
 - Tener un estricto control del programa, ya que la simple eliminación de alimento, solamente causará el traslado del problema a otro sitio.
 - Eliminación de sus refugios.
 - Envenenamiento, mediante el uso de cebos.
-

FIGURA III.13 IDENTIFICACIÓN DE ROEDORES



m. Aves

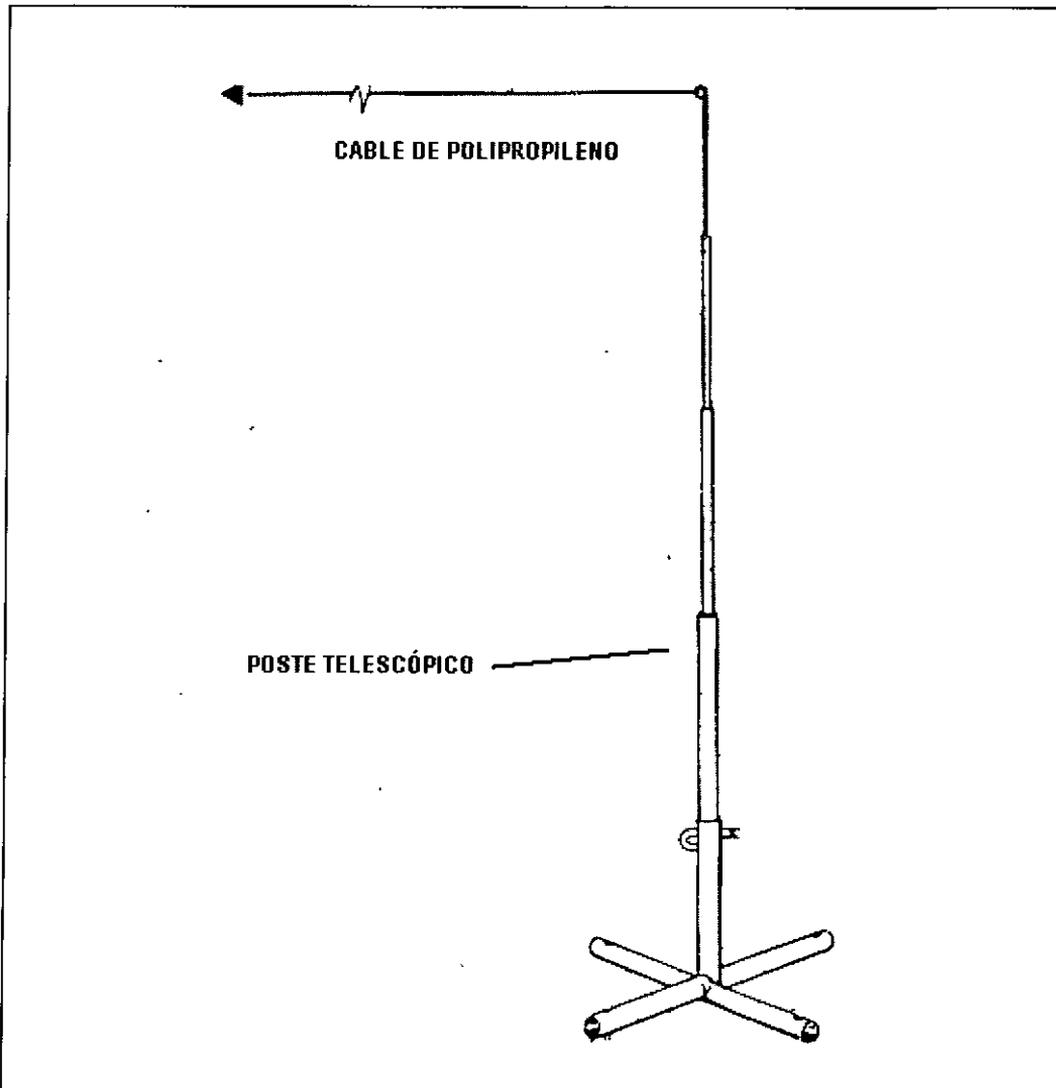
Las gaviotas frecuentemente usan los rellenos sanitarios como una fuente de alimento. Su presencia constituye un riesgo para las aeronaves que vuelan en el espacio aéreo del relleno y una fuente de contaminación para las aguas superficiales.

El control de aves es muy difícil. Algunas de éstas podrían pertenecer a especies protegidas o en peligro de extinción y por ello necesitarse permisos especiales si se pretende establecer un programa de eliminación.

Un método exitoso en el control de aves es el uso de cuerdas elevadas sobre el relleno, las cuales causan interferencia en el sistema de radar de las gaviotas y otros pájaros. En la **Figura III.14**, se presentan los detalles constructivos de dicho sistema.

FIGURA III.14

SISTEMA DE CONTROL DE AVES



FUENTE: Governmental Collection and Disposal Association, *Managing Sanitary Landfill Operations*, Silver Spring, USA, 1988.

Otros métodos para el control de aves que han sido usados con diferentes grados de éxito, se listan a continuación:

- La cobertura oportuna de los residuos.
- Sistemas de emisión de ruidos.
- Uso de venenos y cebos.
- Emisión de grabaciones con sonidos de aves en situación de peligro.

n. Incendios

Los incendios generan problemas de seguridad, calidad de aire (salud), molestias y daños a la propiedad. En los rellenos sanitarios los incendios pueden ser difíciles de localizar, debido a que en ocasiones se generan en el interior de las celdas y el humo toma la ruta que le permita salir más fácilmente y no hacia la superficie directa sobre su ubicación.

Su control puede ser realizado de la siguiente manera:

- Compactación efectiva de los residuos para reducir los vacíos y restringir las vías de acceso para el aire.
- Cobertura diaria de los residuos.
- Compactación adecuada del material de cobertura.
- Si el fuego se presenta, tratar de sofocar la combustión impidiendo el acceso del aire (oxígeno) al área incendiada, esto generalmente se puede lograr cubriendo con tierra suficiente la zona. No se recomienda aplicar agua.

Bibliografía: Tomado de: Manual para la Operación de Rellenos Sanitarios. Ing. Heriberto Bárcenas Ramírez. Congreso AMCRESPAC. Querétaro, 2002.

III.2 PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE ASENTAMIENTOS, LIXIVIADOS Y BIOGAS

III.2.1 Procesos de Descomposición de los Residuos

Antes de analizar las prácticas de manejo de los lixiviados y biogás, es importante comprender de manera general los principios de la descomposición de los residuos dentro del relleno sanitario. El objetivo de comprender dicho proceso, se basa en lo siguiente :

- ◆ **La localización y el diseño de las instalaciones están apoyadas en los impactos ambientales potenciales derivados de los productos que resulten de la descomposición.**
- ◆ **Las prácticas de operación afectan directamente la velocidad de la descomposición de los residuos sólidos.**
- ◆ **Los efectos adversos pueden ser planeados para minimizar sus consecuencias; y**
- ◆ **La viabilidad de la clausura y post-clausura es seriamente afectada también por los productos generados durante la descomposición de la materia orgánica.**

Todos los residuos sólidos sufren cierto grado de descomposición, pero la fracción orgánica es la que sufre los cambios más importantes. Los subproductos de la descomposición están integrados por líquidos, gases y sólidos. La descomposición se lleva a cabo a través de procesos químicos y biológicos, como se mencionó en el Capítulo 2 de este manual. En la **Tabla 6**, se presentan las diferentes categorías de residuos, los procesos y los subproductos generados.

III.2.1.1 Velocidad de la descomposición

Hay diferentes factores que afectan la velocidad de descomposición de los residuos sólidos. Estos incluyen las características físicas, químicas y biológicas de los residuos, tales como :

- ◆ **Tamaño de partícula.**
 - ◆ **Forma de partícula**
 - ◆ **Número y distribución de microorganismo**
 - ◆ **Oxígeno**
-

- ◆ Densidad
- ◆ Composición.
- ◆ Componentes químicos.
- ◆ Humedad.
- ◆ Temperatura.
- ◆ pH

Debido a la complejidad de las reacciones potenciales e interacciones, la cantidad, la velocidad de generación y los componentes químicos de los subproductos no puede ser fácilmente determinados. Sin embargo, en la mayoría de las veces, es mejor diseñar y operar las instalaciones para reducir la generación de los mismos.

TABLA III.6 DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS

| RESIDUOS | PROCESOS | SUBPRODUCTOS |
|--|--------------------------------|---------------------------|
| Materiales orgánicos (papel, alimentos, trapo, etc) | Biológico (Microorganismos) | Líquidos, gases y sólidos |
| Residuos inorgánicos (metales) | Químico (Oxidación) | Compuestos de metales |
| Otros residuos | Biológicos y Químicos | Según el tipo de residuo |

FUENTE: Governmental Collection and Disposal Association, Inc., Training Course Manual, Managing Sanitary Landfill Operation, 1988.

III.2.1.2 Efectos de la descomposición

Hay tres principales eventos que ocurrirán en el relleno sanitario por la degradación de los residuos sólidos:

- HUNDIMIENTOS Y ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES.
- GENERACIÓN Y MIGRACIÓN DE BIOGAS.
- GENERACIÓN Y MIGRACIÓN DE LIXIVIADOS.

III.2.2 Hundimientos y Asentamientos Diferenciales

Este es el problema más obvio y más fácil de controlar.

III.2.2.1 Hundimientos.

Los hundimientos (asentamientos uniformes o fallas) de el relleno ocurren lentamente con el tiempo y esto es causado por :

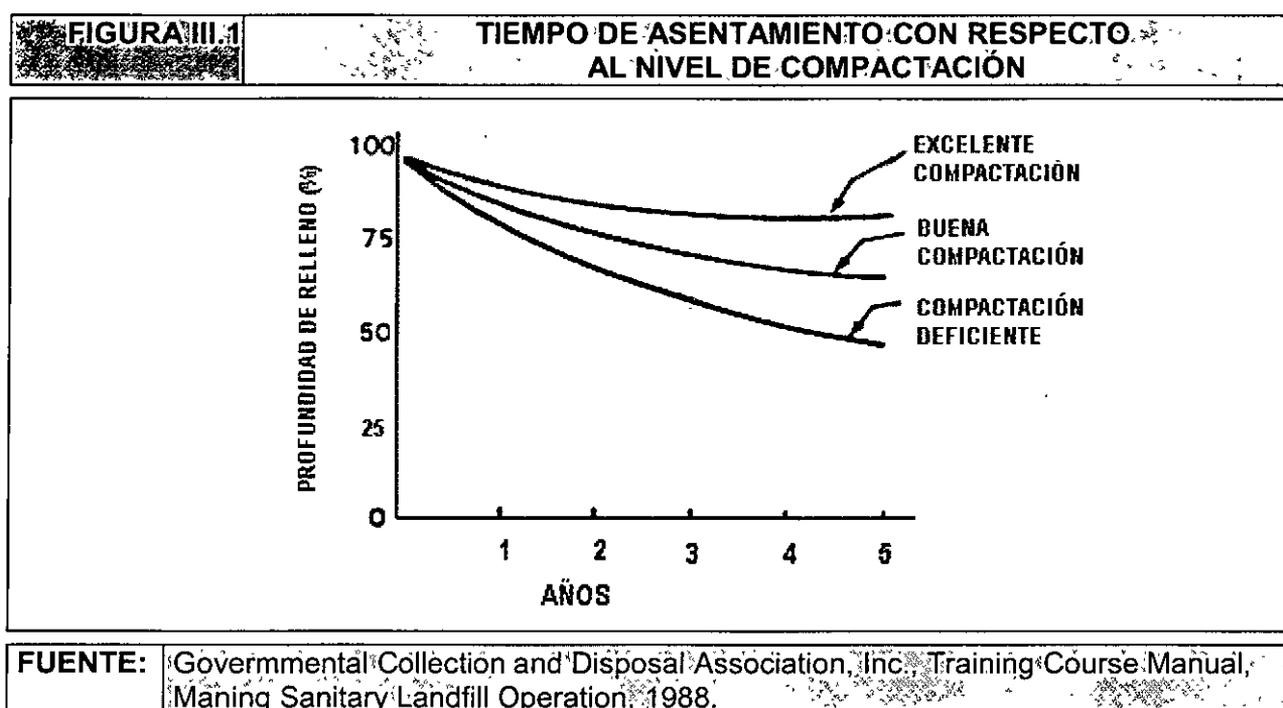
- ◆ **Peso del relleno (con respecto a la altura).**
- ◆ **Descomposición de los residuos sólidos (disminución del volumen)**
- ◆ **Compactación deficiente.**

El control se efectúa por medio de la compactación de los residuos sólidos. En la **Figura 15**, se presenta el asentamiento potencial con respecto al tiempo, basado el grado de compactación.

III.2.2.2 Asentamientos diferenciales

Los asentamientos de ciertas áreas rellenas son llamados asentamientos diferenciales y originan depresiones de diversos tamaños, su ocurrencia se da de manera aleatoria a través del tiempo. Los problemas básicos creados por los asentamientos diferenciales incluyen el encharcamiento de agua, incrementando la generación de lixiviados, la producción de biogas y la reducción del crecimiento de especies vegetales. Los asentamientos diferenciales son provocados por:

- Tráfico vehicular
- Compactación deficiente.
- Depósito de grandes cantidades de residuos orgánicos a lado de residuos inorgánicos e inertes (diferentes velocidades de degradación).
- Llenado irregular de las celdas.
- Asentamiento de materiales o el llenado de huecos provocados por la descomposición.



III.2.2.3 Control de asentamientos

Los métodos de control de asentamientos incluyen :

- Buena compactación
- Separado o recuperación de materiales de los residuos voluminosos.
- Compactación de los residuos voluminosos lo más posible
- Mantener el área de trabajo liso y uniforme.
- Acondicionamiento de caminos con materiales inertes.
- Nivelación de áreas para favorecer los escurrimientos.
- Llenar las depresiones con material de relleno si estas son evidentes.
- Durante la construcción del sitio, las grandes depresiones pueden ser rellenas con residuos fácilmente manejables (domiciliarios) para nivelar.

III.2.2.4 Identificación de la presencia de asentamientos

La identificación de los problemas de asentamientos se hace a través de la observación directa sobre las áreas rellenadas.

- ◆ Agrietamiento en la cubierta
- ◆ Depresiones visibles.
- ◆ Fracturas profundas.
- ◆ Estancamiento de agua.

III.2.3 Manejo de Lixiviados

Cuando el agua pasa (percola) a través de varios materiales, remueve algo de los sólidos, a esta agua y lo que contiene se llaman lixiviado.

El lixiviado es de aspecto desagradable, comúnmente tiene mal olor y puede contaminar las aguas subterráneas y superficiales. Contiene materia orgánica e inorgánica. Algunos de estos materiales son tóxicos a los humanos y los animales. Esto significa que el lixiviado se debe mantener alejado de lagos y corrientes, así como del agua subterránea que puede consumir la gente.

La producción de lixiviados se puede prevenir:

- MANTENIENDO LOS LÍQUIDOS FUERA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS**
- MANTENIENDO EL AGUA DE LLUVIA FUERA DEL RELLENO**

La legislación (en países desarrollados) requiere que los lixiviados que hayan sido generados, se recolecten y traten para su disposición final. Este requerimiento dio como resultado la exigencia de dos o más capas de impermeabilización en el fondo de los rellenos. En un sistema de doble capa impermeable se requiere también de un sistema de detección de fugas. Un relleno diseñado y construido con doble capa impermeable tiene una muy baja probabilidad de que el lixiviado pueda escapar, pero existe el riesgo.

Se han probado también capas impermeables hechas con materiales naturales tales como arcilla fina, o sintéticos como plásticos. En el futuro los más utilizados serán los plásticos.

Es necesario perforar pozos de monitoreo de agua subterránea alrededor del relleno. Los requerimientos básicos son de un pozo aguas arriba del área de relleno y tres aguas abajo. Las muestras colectadas de estos pozos se analizan. Esto se hace para asegurar que el lixiviado no llegue al manto freático.

El estancamiento del agua causará el ingreso de más agua al relleno. Las causas más comunes del estancamiento son:

- Depresiones en la superficie del relleno
-

-
- Prácticas inadecuadas de construcción y fallas del sistema de impermeabilización en la reproducción del contorno de superficies planas y pendientes, así como en la operación donde se llega a obstruir el drenaje.

III.2.3.1 Migración de Lixiviados

Las buenas prácticas de operación pueden resultar en una reducción de la generación de lixiviados. No hay técnicas que eliminen absolutamente la generación de lixiviado y éste no representa ningún problema, a menos que migre desde el punto de generación hacia las aguas superficiales o subterráneas.

Características de Migración

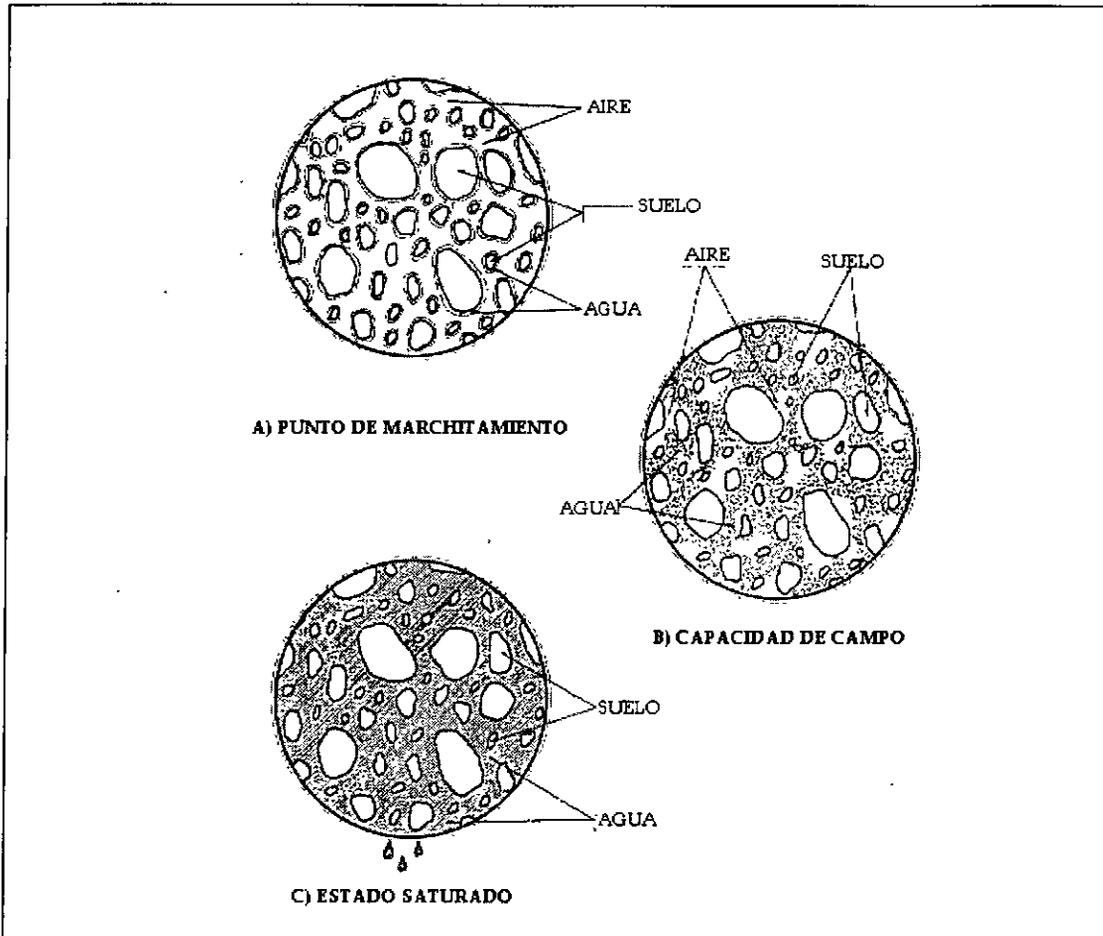
La migración de lixiviados ocurre cuando se satura una condición conocida como Capacidad de Campo. Dicha condición se refiere a la capacidad de un material para retener humedad libre en contra de la fuerza de gravedad. Una vez que se alcanza la capacidad de campo, la migración de lixiviados puede iniciar. Capacidad de campo no es lo mismo que saturación. Saturación significa que todos los espacios libres (de otra forma ocupados por aire) están llenos con agua. En al **Figura III.16**, se ilustra el fenómeno de la capacidad de campo.

Procesos de Migración que pueden ocurrir:

La migración se puede dar cuando cualquier porción del relleno alcanza su capacidad de campo o desde los vacíos entre los residuos.

El lixiviado también puede migrar a la superficie del suelo (base del relleno) o hasta el agua subterránea (normalmente a lo largo de pendientes o escurrimientos). A lo largo de la vía de menor resistencia dentro del relleno y en el suelo circundante.

FIGURA III: CAPACIDAD DE CAMPO



FUENTE: Governmental Collection and Disposal Association, Inc., Training Course Manual, Maning Sanitary Landfill Operation, 1988.

Descarga Superficial del Lixiviado

La descarga superficial normalmente ocurre a lo largo de la base de taludes, en el punto más débil en un sistema de cubierta o donde el suelo tiene la mayor permeabilidad. El uso de suelos impermeables como cubiertas diarias o intermedias puede originar escurrimientos a los lados del relleno. dichos escurrimientos superficiales pueden producir:

- ◆ Olores y condiciones desagradables
- ◆ Contaminación potencial del agua superficial
- ◆ Infiltración del lixiviado al agua subterránea
- ◆ Impacto a la flora del sitio

Si se presenta un escurrimiento, generalmente aparecerá como una descarga oscura, de color café rojizo y olor fétido. Frecuentemente aparecen burbujas en el escurrimiento. Una vez que la descarga se detiene, el suelo presenta una mancha de color café rojizo.

El control de las descargas superficiales se realiza mediante:

-
- Control de la generación de lixiviados.
 - Excavando zanjas alrededor del escurrimiento y rellenándola con suelo de textura fina y bien compactado para interrumpir el flujo.

Descarga de Lixiviado al Agua Subterránea

La contaminación del agua subterránea se presenta si el lixiviado llega a alguno de estos cuerpos. Un método utilizado, para detectar la migración, es el monitoreo de la humedad del suelo bajo el relleno con lisímetros. Dicho monitoreo se efectúa principalmente para evaluar la calidad del agua, con respecto a la presencia del lixiviado.

Es importante diseñar el programa de monitoreo al mismo tiempo que se diseña el relleno, tomando en cuenta las etapas de construcción.

Control de la Migración de Lixiviados

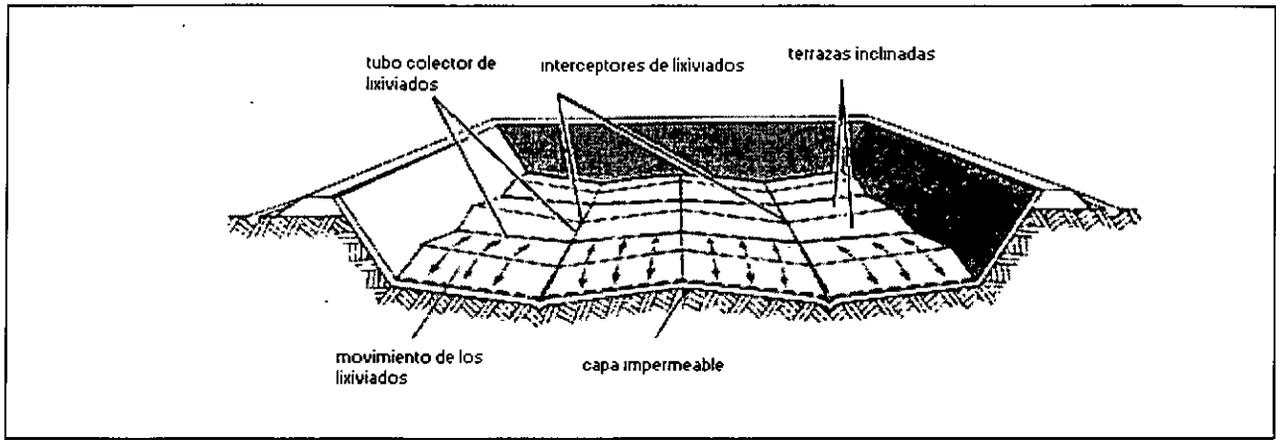
La ubicación adecuada del sitio, el diseño y la construcción pueden dar seguridad en el control de la migración de lixiviados. La infraestructura necesaria incluye sistemas de impermeabilización empleando materiales de baja permeabilidad (naturales y/o sintéticos), colocados con cierta pendiente para conducir por gravedad el lixiviado a los tubos colectores. Estos tubos colectan el lixiviado para su posterior extracción y tratamiento. La operación adecuada de dichas instalaciones, la colocación de cobertura final de acuerdo a las especificaciones del proyecto, y el mantenimiento de la cubierta vegetal reducirán migración de lixiviado.

Selección de Sitio

En México, generalmente se han utilizado para la disposición de residuos sólidos, sitios inadecuados como: minas de materiales permeables, cauces de ríos, ondonadas y barrancas, principalmente; los cuales por el tipo de suelo, ubicación, etc., se han convertido en focos de contaminación de alto riesgo para los seres vivos.

Es por ello que las legislaciones actuales no permiten que los rellenos sanitarios se ubiquen en suelos que faciliten la infiltración de los lixiviados al manto freático; por lo que en la mayoría de los casos tanto los sistemas naturales de impermeabilización hechos con suelos arcillosos, los sistemas artificiales o combinaciones de ambos son necesarios para controlar dicha migración de lixiviados. Aún en ausencia de requisitos legales que exijan sistemas de impermeabilización, las prácticas adecuadas dictarán casi siempre el uso de sistemas de impermeabilización.

En la **Figura III.17** se ilustran los conceptos de un sistema de colección de lixiviados típico.



Impermeabilización con Materiales Naturales.

El uso de materiales naturales requiere de consideraciones especiales para asegurar que:

La permeabilidad del suelo iguale o exceda los estándares legislados.

La densidad del suelo en el sitio sea comparable a la utilizada en la prueba para determinar el coeficiente de permeabilidad.

El espesor del suelo sea el adecuado para proporcionar al sitio la seguridad establecida por el diseñador.

Impermeabilización con Materiales Geosintéticos (sistemas de membrana flexible).

El tipo geosintéticos utilizados pueden ser: georedes, geotextiles, geomallas y geomembranas. Dichos geosintéticos deben ser compatibles con las condiciones físicas de la obra, además de cumplir con un alto control de calidad tanto del mismo material, como de su instalación, algunas fallas que se pueden presentar en dichos materiales, son:

- pinchadura.
- abrasión.
- raspones.
- organismos biológicos.
- asentamientos.
- pérdida de plasticidad.
- choque térmico (Stress).
- luz ultravioleta/luz infrarroja.

Los geosintéticos más frecuentemente utilizados pueden ser fabricados de:

- polietileno clorado.
- polietileno clorosulfonado.
- polietileno de alta densidad.
- cloruro de polivinilo.

Impermeabilización

No existen los sistemas totalmente impermeables. La migración normal del lixiviado a través de las capas impermeables se llama "permeación" para distinguirla de las fugas.

La mayoría de los sistemas convencionales de impermeabilización están diseñados con sistemas de colección y remoción de lixiviados que disminuirán el tirante de los líquidos sobre la superficie impermeable hasta una altura de aproximadamente de 15 cm. Bajo estas condiciones, un sistema de impermeabilización cuidadosamente construido que contenga una capa de 30 cm de arcilla colocada y compactada, con una permeabilidad en el sitio de 1×10^{-7} cm./seg., mantendrá una permeación de aproximadamente 150 m³/ha-año, de lixiviado. Sin embargo, el agrietamiento en las arcillas debido a una mala compactación o al resecamiento y el fisuramiento pueden favorecer una mayor fuga de dichos lixiviados.

En contraste una capa de geomembrana sintética de 40 mil (0.0035 ft) deberá permitir no más de 1 m³/ha-año de permeación cuando el tirante máximo de lixiviado sobre la superficie impermeable sea de 15 cm.

No obstante que los geosintéticos tengan propiedades de alta resistencia; no dejan de ser susceptibles a sufrir daños durante su traslado e instalación en el sitio; se considera que si la geomembrana llega a tener 20 orificios de aproximadamente 2 cm. de diámetro por ha., reduce su eficiencia de impermeabilización a un valor similar al de una capa de arcilla de 30 cm. Por otra parte 16 agujeros del tamaño de una cabeza de alfiler pueden ser suficientes para dañar una geomembrana. La instalación de estos sistemas sintéticos de impermeabilización sin que se presenten esas imperfecciones es casi imposible. Algunos daños durante la construcción se deben prevenir.

Diseño de Capas impermeables.

Los sistemas convencionales de impermeabilización para rellenos se conforman por capas de arcilla o membranas sintéticas para impedir la migración del lixiviado. Los sistemas compuestos incluyen una capa de arcilla sobre una membrana sintética.

Los sistemas más importantes de impermeabilización son:

- capa natural de arcilla.
- capa de arcilla compactada.
- geomembrana sintética sencilla.
- sistema doble de geomembrana sintética/arcilla.
- sistema compuesto.
- doble sistema compuesto.

Los diferentes sistemas varían enormemente en su capacidad para contener el lixiviado y en su costo de inversión. En la selección de un sistema de impermeabilización, el diseñador de rellenos debe evaluar las necesidades y condiciones específicas y el grado de contención requerido para prevenir la contaminación del suelo o el agua subterránea. También debe preocuparse de las tendencias nacionales y regionales en la legislación de los rellenos que puede influir en gran medida las obligaciones asociadas con el proyecto.

Minimización de fugas.

Las fugas son el resultado de imperfecciones en los sistemas de impermeabilización. Las fugas se pueden presentar tanto en los sistemas construidos con arcillas como en los que utilizan materiales sintéticos. La tasa de flujo en las fugas es directamente proporcional a:

- La altura del lixiviado sobre la superficie impermeable.
- El tamaño de la imperfección.
- La permeabilidad de las capas subyacentes al sistema de impermeabilización.

La primera acción para evitar las fugas de lixiviados, consiste en efectuar una instalación bajo una estricta supervisión. Las pruebas constructivas y destructivas de los sistemas de impermeabilización, conjuntamente con especificaciones de construcción a detalle, son esenciales para eliminar los problemas asociados con materiales de mala calidad, mano de obra deficiente y daños accidentales.

Un método alternativo para reducir las fugas es la construcción de una doble capa impermeable. La doble capa incorpora dos capas de idéntico diseño, una inmediatamente encima de la otra. Comúnmente se encuentra doble geomembrana sintética o doble capa de arcilla en los diseños actuales de rellenos sanitarios. La capa superior se identifica como capa primaria. La capa inferior como capa secundaria. Las fugas a través de la capa impermeable superior o primaria serán una pequeña fracción del total del lixiviado generado. La altura del nivel de lixiviado sobre la capa impermeable inferior o secundaria siempre será mucho menor que aquella que se da en la capa impermeable primaria. La efectividad de las dobles capas es reforzada por la probabilidad de que una falla en la capa impermeable secundaria no caerá directamente bajo una falla en la capa primaria. En la práctica, se mejora en alrededor de 10 veces la eficiencia de impermeabilización con las dobles capas si se les compara con los sistemas de capa sencilla.

Tratamiento de Lixiviados.

Un sistema de colección de lixiviados se construye con el fin de utilizarse para desplazar el lixiviado del relleno. El proceso consiste en coleccionar, bombear y conducirlo hacia una planta municipal de tratamiento de aguas residuales o para su manejo en el mismo sitio.

Sistemas de Tratamiento de Lixiviados.

Hay varias opciones de tratamiento de lixiviados. La selección del proceso de tratamiento depende de la caracterización final del lixiviado. Las opciones de disposición caen en cualquiera de las cuatro categorías siguientes:

- ◆ Descarga directa a un cuerpo receptor de aguas.
- ◆ Descarga a una planta de tratamiento pública.
- ◆ Recirculación al relleno.
- ◆ Aplicación o tratamiento sobre el suelo.

La recirculación normalmente no utiliza ningún tipo de tratamiento. Por otra parte, el tratamiento extensivo es normalmente necesario para impedir la descarga del lixiviado a las aguas superficiales. Si el lixiviado se descarga una planta de tratamiento pública, el grado de tratamiento preliminar depende de la capacidad de la planta y de lo que acepte el operador de la misma.

Recirculación del Lixiviado.

El tratamiento de lixiviados puede ser complementado por la recirculación de ese lixiviado de regreso al interior de las celdas del relleno. Esta técnica también tiene el beneficio de acelerar la estabilización de los materiales orgánicos presentes. El uso de la recirculación no elimina la necesidad final de tratamiento. Eventualmente, el lixiviado en exceso tendrá que ser removido y tratado.

Se pueden utilizar tres diferentes tipos de sistemas de recirculación de lixiviados: **irrigación por aspersión, flujo superficial e irrigación por inyección.**

Irrigación por Aspersión:

Se realiza mediante el bombeo periódico del lixiviado a través de las boquillas de aspersión situadas a intervalos de 15 a 30 m. de separación a lo largo y ancho del relleno. La ventaja de la irrigación por aspersión es que el lixiviado puede quedar sujeto a tratamiento por aereación durante el proceso de aspersión y vía adsorción por el material de cobertura durante su infiltración.

Flujo Superficial:

Es una técnica en la que se utilizan trincheras, tubos sobre la superficie del relleno o campos de infiltración para distribuir el lixiviado recirculado. El lixiviado es periódicamente bombeado a los sistemas de distribución y se permite su infiltración al interior del relleno. El tratamiento se da en la superficie mediante medios biológicos, adsorción y absorción.

Irrigación por Inyección:

Los lixiviados se distribuyen al interior del relleno mediante pequeños tubos o medios de infiltración (porosos), enterrados bajo la cubierta final. Ya que el sistema se instala bajo la superficie, la irrigación no es afectada por las condiciones climatológicas y tiene la ventaja de minimizar los problemas potenciales de olores.

A pesar de las ventajas potenciales de la recirculación de lixiviados, no se utiliza ampliamente. Las desventajas de la recirculación de lixiviados incluyen altos costos de inversión, concentraciones crecientes de metales en el lixiviado, saturación de la capacidad de campo, lo que puede finalmente detener la actividad biológica y la desaprobación legal en muchos casos de este procedimiento. La actitud legislativa, en los países desarrollados, puede ser el resultado de las tendencias recientes para prohibir el manejo de líquidos en los rellenos sanitarios.

Tecnologías de Tratamiento de Lixiviados

Las tecnologías para el tratamiento de lixiviados pueden clasificarse de manera general en dos categorías: biológica y fisicoquímica. Hoy existe la tecnología adecuada para tratar en forma efectiva los lixiviados provenientes de los rellenos para residuos sólidos municipales. Los factores que requieren atención especial tanto en el diseño como en la operación son: la dificultad potencial para obtener una caracterización representativa de los lixiviados, la variación de la calidad de los lixiviados con respecto al tiempo y la falta de datos basados en casos de tratamiento de lixiviados anteriormente implementados.

III.2.4 Manejo del Biogas

El biogas se produce de la degradación de los materiales orgánicos. El proceso se llama descomposición anaerobia. Los dos principales gases formados son metano (CH_4) y bióxido de carbono (CO_2). El metano es del grupo de los alcanos, una mezcla del 5 al 15 % de metano en aire puede causar una explosión si existe una fuente de ignición.

El biogas se puede desplazar por el subsuelo e inclusive fuera del relleno. Si el gas se acumula dentro o bajo estructuras tales como edificios, drenajes u otros sistemas de conducción, puede ocasionar explosiones; es por ello que se construyen pozos de monitoreo en perímetro del sitio, con el fin de evaluar la cantidad de biogas que puede acumularse en dichas zonas no controladas.

Existe una creciente preocupación acerca de la liberación sin control del gas proveniente de los rellenos sanitarios a la atmósfera, por ser una amenaza para la salud humana y el ambiente, por ello existe una creciente presión para que el biogas sea extraído y por lo menos venteado.

Muchos rellenos en el mundo ya cuentan con sistemas para control del biogas. Esto asegura a que se minimice su emigración de manera incontrolada. El gas colectado puede ser incinerado en un quemador o utilizado como fuente de energía alterna en diversos usos, por ejemplo: para la calefacción de espacios cerrados o para el funcionamiento de equipos, como combustible doméstico o industrial, etc.

III.2.4.1 Biogas

La cantidad y composición del biogas depende entre otros factores, del tipo de materia orgánica contenida en los residuos sólidos, del grado de descomposición de ésta, etc. Se considera que los residuos con una gran fracción de material orgánico de fácil degradación producirán mayor cantidad de biogas. La tasa de producción de biogas es gobernada por la velocidad a la que los residuos se descomponen, así como a factores ambientales. Cuando la descomposición cesa, la producción de gas también se termina. La producción de gas comienza casi inmediatamente después de que los residuos sólidos son confinados en el relleno.

Además del metano y el bióxido de carbono, en el biogas se pueden encontrar otros componentes, de los cuales se deriva su olor característico, así como orgánicos no metánicos que pueden impactar la calidad del aire cuando son desalojadas hacia la atmósfera.

En la **Tabla III.7**, se presentan las características típicas de los componentes del biogas.

| TABLA III.7 | | COMPONENTES DEL BIOGAS | |
|--|--|--|--|
| COMPONENTE | | % DEL COMPONENTE (VOLUMEN, BASE SECA) | |
| METANO | | 47.5 | |
| BIÓXIDO DE CARBONO | | 47.5 | |
| NITRÓGENO | | 3.7 | |
| OXIGENO | | 0.8 | |
| HIDROCARBUROS PARAFINICOS | | 0.1 | |
| HIDROCARBUROS AROMÁTICOS Y CÍCLICOS | | 0.2 | |
| HIDROGENO | | 0.1 | |
| ÁCIDO SULFHÍDRICO | | 0.01 | |
| MONÓXIDO DE CARBONO | | 0.1 | |
| COMPUESTOS TRAZAS | | 0.5 | |
| CAPACIDAD CALORÍFICA | | 300-550 | |
| GRAVEDAD ESPECÍFICA | | 1.04 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD | | SATURADO | |
| TEMPERATURA(EN LA FUENTE) | | 41 °C | |

III. 2.4.2 Factores que influyen en el desplazamiento del biogas

El movimiento del biogas dentro de los estratos del relleno depende de la siguiente información:

- ◆ Espesor de los estratos, y edad de los residuos sólidos.
- ◆ Composición física de los residuos sólidos depositados.
- ◆ Permeabilidad del terreno y del material de cobertura.
- ◆ Características y clasificación del suelo adyacente al relleno
- ◆ Porcentaje de compactación de los residuos y del material de cubierta.

III.2.4.3 Evaluación del suelo para detectar la presencia del biogas

La emigración del biogas hacia zonas no controladas puede detectarse de la siguiente forma:

- ◆ Percibiendo su olor característico.
- ◆ Revisando fracturas o grietas de la cobertura mediante un explosímetro.
- ◆ Observando incendios o desprendimiento de vapores entre las celdas así como en zonas circundantes.
- ◆ Muestreando sitio donde se sospeche que hay emigración de biogas.

Respecto al muestreo, se tienen las siguientes recomendaciones:

La profundidad del muestreo varía dependiendo de la geología y la distancia al relleno. Las pruebas iniciales se realizan normalmente entre 30 y 45 cm bajo la superficie del suelo debido a la capacidad limitada del equipo de prueba. Las pruebas se deben realizar principalmente, en el perímetro de zonas habitacionales.

Pozos de Monitoreo de Biogas.

Son estructuras que se construyen principalmente en las zonas circundantes al sitio, con el fin de evaluar y detectar el biogas acumulado en tres estratos del suelo. Tales instalaciones permanentes:

- El fácil análisis de rutina.
- Las ubicaciones de prueba uniformes.
- La verificación de los resultados con pruebas repetidas.

Equipo de Monitoreo.

Se utilizan explosímetros para detectar la presencia de metano. Estos equipos pueden utilizarse para varios propósitos como:

- ◆ Medición del porcentaje de gas en relación al límite explosivo inferior.
- ◆ Medición de la concentración total de gas como un porcentaje referido a gases totales.

Dichos equipos presentan variantes como:

- ◆ Alarmas auditivas.
- ◆ Alarmas visuales.

El equipo para límite explosivo inferior es más útil porque el peligro de explosión es una preocupación primordial. El límite explosivo inferior del metano es 5% en volumen en el aire, y es la concentración más baja de gas que puede producir una explosión si existe una fuente de ignición.

El límite explosivo superior del metano en aire es 15% en volumen, y es la máxima concentración de una gas que causa una explosión. Si las concentraciones de metano rebasan el 15% pueden provocar incendios pero no explosiones.

Características de las Emisiones de Biogas a la Atmósfera

El biogas también contiene menos del 1% de compuestos orgánicos no metánicos. Así la migración del biogas propicia un mecanismo de transporte para los compuestos orgánicos no metánicos contenidos en los residuos del relleno. Algunos de estos compuestos pueden causar daño a la salud humana y al ambiente.

Las Emisiones del Biogas a la Atmósfera

Las emisiones del biogas a la atmósfera requiere de la estimación, tanto su concentración, como del flujo de éste. Se han desarrollado varios modelos teóricos para estimar la tasa de generación que es alrededor de la mitad del total del volumen del biogas. El modelo de Scholl Canyon parece ser uno de los más utilizados para la estimación de las emisiones de los compuestos orgánicos no metánicos.

La única forma para verdaderamente estimar la generación de biogas o sus tasas de emisión, de un relleno sanitario, es a través de la realización de pruebas en el mismo sitio. Estas pruebas so-

extremadamente caras, por lo tanto, se requiere un método económicamente más accesible para dichos estudios.

Control del Biogas

Se pueden utilizar varios tipos de sistemas para controlar las emisiones y la migración del biogas (sistemas activos y pasivos), dependiendo de la cantidad que se genere. Dicho control puede consistir en:

- ◆ Venteo a la atmósfera
- ◆ Combustión en pebeteros o quemadores
- ◆ Incineración
- ◆ Recuperación como fuente alterna de energía

Para ello pueden utilizarse los siguientes sistemas:

Sistemas de Control Activo

Son pozos construidos a diferentes profundidades, equipados con un ducto y equipo mecánico, como sopladores y bombas de extracción. Estos sistemas incluyen:

- ◆ Pozos de extracción y/o trincheras (captación).
- ◆ Pozos de inyección de aire o trincheras (barreras).

La selección, el diseño y los costos de los sistemas son específicos para cada sitio y están determinados en base a investigaciones de campo, requerimientos de desempeño y planes del desarrollo del sitio.

Sistemas Perimetrales de Pozos de Extracción de Biogas

Estos sistemas pueden ser de extracción natural y consisten de una serie de pozos verticales instalados en el perímetro del sitio.

Sistemas Perimetrales de Trincheras de Extracción

Consiste en una línea de zanjas interceptoras equipadas con grava y tubos de P.V.C. perforados o ranurados.

Sistemas Perimetrales de Pozos de Inyección de Aire

Consisten en una serie de pozos verticales instalados en suelo natural, entre el límite de los residuos sólidos depositados y del área de amortiguamiento requerida.

Trinchera Perimetral de Inyección de Aire

Es similar al de trinchera de extracción descrita anteriormente.

Sistemas Pasivos de Control

Su construcción es semejante a la de los sistemas activos, excepto su forma de extracción, ya que ésta se realiza de manera natural.

Dichos sistema incluyen:

- ◆ Sistemas de trincheras de venteo (barrera).
- ◆ Quemadores y venteos (captación).

Sistema de Trincheras de Venteo

Consiste en una trinchera interceptora rellena de grava que contiene un tubo horizontal perforado o ranurado. El tubo se conecta a ductos verticales que permiten la acumulación del biogas para ventearlo a la atmósfera.

Quemadores y venteos

Los quemadores y venteos son instalaciones sencillas de tubo colocado dentro del estrato de residuos sólidos para permitir el venteo del biogas a la atmósfera. Un sistema de quemadores pasivos es muy similar a un sistema de venteo, excepto que el gas se quema y es necesaria cierta infraestructura adicional para mantener la combustión.

Estructuras de Protección para los Sistemas de Control del biogas

Dichas protecciones pueden ser de metal, concreto, tabique, etc., previamente diseñadas en base a los requerimientos del sistema a proteger.

Recuperación y Uso de Biogas

La recuperación y usos del biogas producido en rellenos sanitarios, se ha desarrollado en varias ciudades de Estados Unidos. Los grandes rellenos en California, New York y otros estados, fueron de los primeros en aprovechar el gas a gran escala para fines comerciales.

Entre algunos de sus usos se pueden mencionar los siguientes:

- Combustible para uso industrial.
- Combustible para generación de electricidad
- Combustible para uso doméstico.
- Combustible para vehículos.
- Producción de metanol.

En todos los casos se requiere cierto grado de procesamiento antes de poder utilizar el biogas. Las compañías que instalan sistemas de recuperación de biogas indican que para un proyecto sea económicamente viable a gran escala se deben reunir las siguientes condiciones:

- ◆ El relleno debe contener como mínimo 1'000,000 de ton. Mientras mayor sea el contenido orgánico es mejor.
 - ◆ El sitio debe estar en operación o tener cinco años de haber cerrado.
 - ◆ El espesor de los estratos de residuos sólidos debe ser como mínimo de 12 m.
-

-
- ◆ El material de cobertura es necesario que sea impermeable para reducir el movimiento del biogas.

Calidad del Biogas para su Uso

Como ya se mencionó las concentraciones del biogas fluctúan entre el 50 y 55% para el metano y 45 y 50% para el dióxido de carbono. Lo cual equivale a un valor energético del biogas entre 4.5 y 5.0 kilocalorías por m³. Los gases con este valor energético se llaman gases de calidad media. Puede ser utilizado directamente en calderas, calefactores, máquinas de combustión interna, entre otros. Los contaminantes presentes en el biogas pueden causar corrosión, abrasión y desgaste excesivo de las cámaras de combustión.

El biogas puede tratarse para remover las impurezas y mejorarlo hasta obtener 9 kilocalorías por m³. Este gas se llama gas de calidad para gasoducto y puede ser inyectado a los sistemas de distribución existentes, convertirse en fertilizante o licuarse. Se deben realizar análisis de mercado y viabilidad económica para definir el uso más adecuado.

Procesamiento del Biogas para su Aprovechamiento

Si el biogas va a ser aprovechado como energético, debe procesarse por las siguientes razones:

- ◆ Control de la corrosión en las instalaciones.
- ◆ Control de la humedad y otros compuestos no deseables.
- ◆ Mejoramiento de su valor energético.
- ◆ Requerimientos de la legislación ambiental.

El control de la corrosión en las instalaciones importante debido a que los componentes como el ácido sulfhídrico, bióxido de Carbono, etc., siempre están presentes en el biogas. Cada relleno sanitario es diferente y el biogas producido varía de un sitio a otro, consecuentemente, la naturaleza corrosiva del biogas también diferente.

La necesidad de reunir las especificaciones comerciales relacionadas con el agua y algunos hidrocarburos es de particular importancia principalmente cuando el biogas tiene que ser transportado a largas distancias mediante gasoductos subterráneos. Es por ello que se deberán eliminar los condensados que se presentan en las instalaciones.

Se requiere mejorar la calidad energética del biogas únicamente hasta el grado mínimo aceptable por el consumidor en los sistemas de distribución de gas. Alrededor de 9 kilocalorías por m³, es el máximo valor energético obtenible en biogas procesado. Algunos consumidores han aceptado valores energéticos de 8.5 kilocalorías por m³, en sus líneas de distribución.

Otra consideración para el procesamiento del biogas son los requerimientos de la legislación ambiental. Los hidrocarburos traza y los niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera, son asuntos que deben evaluarse antes de seleccionar el proceso de tratamiento.

III.3 MANTENIMIENTO Y SERVICIO

Dar mantenimiento a una obra es efectuar acciones para conservar la funcionalidad de sus equipos e instalaciones. Y en un relleno sanitario es muy importante realizarlo adecuadamente, pues de no ser así se ocasionaría :

- Graves daños al medio ambiente y con ello rechazo a la obra por parte de la población.
- Incumplimiento de los planes y programas de trabajo.
- Fallas en el equipo o en las instalaciones y con ello encarecimiento de la obra.

Por todo lo anterior, en este tema se tratan recomendaciones para el mantenimiento de: el equipo, los espacios de trabajo, los vehículos, los caminos, la báscula, la cerca perimetral, las oficinas, área de servicio, áreas verdes, sistema de monitoreo, y cobertura final.

III.3.1 Revisión y Reparación de Equipo

El equipo mecánico es indispensable en la operación del relleno sanitario. Y por esto, para evitar retrasos e incremento de costos en la operación, se precisa: revisarlo constantemente, cuidarlo cuando opera, cambiarlas piezas que así lo requieran, y elegir a un operador que además de tener experiencia en la operación del equipo sea capaz de realizar reparaciones pequeñas a las máquinas.

A continuación se mencionan algunas recomendaciones generales sobre mantenimiento y cuidados en la operación de la maquinaria, las cuales deberán considerarse normalmente durante las horas activas de la misma, pero es primordial recurrir a los manuales o guías entregadas por los fabricantes.

III.3.1.1 Lubricación.

La lubricación es de gran importancia para el correcto funcionamiento y tiempo de vida útil de los elementos móviles del equipo. La frecuencia de lubricación nunca debe ser inferior a la indicada por los fabricantes y está condicionada además al tipo de trabajo que realice, la carga, el terreno y el tiempo atmosférico.

Es importante observar que el indicador de presión de aceite marque correctamente, en caso contrario deberá verificarse el nivel de aceite en el cárter o bien si la viscosidad es la adecuada para la temperatura ambiente. Se recomienda además lo siguiente :

- *Usar siempre lubricadores y envases limpios.*
- *Bajo condiciones de funcionamiento demasiado severas deben reducirse los periodos de lubricación.*
- *Antes de arrancar la máquina el operador debe prestar atención en el cumplimiento del programa de lubricación.*

III.3.1.2 Purgado

Comprobar la presión de aire en el sistema de freno y purgar cada mañana los productos de la condensación. Evitar que el depósito de combustible quede con poca carga y limpiarlo frecuentemente.

Luego de largos períodos de inactividad del tractor, o bien al desarmar los filtros y cañerías de alimentación, o cuando se agota el combustible del tanque, suele quedar aire en las tuberías de combustible, el que puede eliminarse purgando el sistema.

III.3.1.3 Sistema de alimentación

Es importante para el correcto funcionamiento de equipo y la economía de consumo, controlar la regulación de los inyectores; esta anomalía comúnmente se manifiesta con humo excesivo en el escape. El ajuste de la bomba inyectora debe hacerlo personal especializado.

Realizar el buen cuidado del filtro de aire, considerado el pulmón del motor es muy importante. Se necesita vigilar el nivel de aceite y el nivel de posición de polvo en el recipiente del prefiltro y soplear la cámara interna del prefiltro.

En ambientes muy polvorientos es preciso aumentar la frecuencia de control y limpieza.

III.3.1.4 Sistema de enfriamiento

El termostato es el que regula la temperatura y su velocidad de elevación en el motor. El termostato se halla en la tubería de retorno del agua desde la cabeza de cilindros al radiador.

III.3.1.5 Sistema eléctrico

El sistema eléctrico merece ser atendido por personal especializado. En general el operario tiene que quitar el óxido de las terminales de los acumuladores y los cables. Reemplazar los alambres desgastados. Colocarlos limpios y firmes. Es necesario que las baterías estén aseguradas al bastidor y no se aprieten demasiado fuerte, y mantenerse el nivel correcto del líquido.

Cuando el líquido electrolítico se encuentra por debajo del nivel adecuado se agregará agua destilada pura. No se use agua de hidrante o que haya sido almacenada en un recipiente metálico. Se puede usar agua de lluvia. Los bornes se apretarán y untarán con vaselina pura y no grasa común.

Hay que vigilar en el tablero de la máquina la luz indicadora de insuficiente tensión en el dínamo. Cuando el motor se acelera debe estar apagada, de lo contrario se revisará el dínamo o el regulador de tensión y el fusible de este. Cuando el motor este en ralentí, es necesario regular a un número de r.p.m. tal, que la luz indicadora esté encendida o apagada pero nunca "parpadeando" pues puede dañarse el regulador de tensión.

Los equipos empleados en los rellenos sanitarios, generalmente, son montados sobre orugas por esta razón a continuación se mencionan las características más importantes de este tipo de maquinaria, en cuanto a su funcionamiento y mantenimiento.

III.3.1.6 Maquinaria sobre orugas

Los tractores sobre orugas, logran un funcionamiento más suave y uniforme, sin tiradas bruscas ni ondulaciones.

Existen diversos diseños para las zapatas de los carriles de una topadora, que cumplen funciones de tracción primordialmente, a través de las uñas de apoyo. Es de notar además que la fuerza impulsora se ejerce sobre los pasadores y no sobre las zapatas del carril, en forma directa.

Con una distancia entre ejes suficientemente amplia y con tejas de ancho adecuado, se logra en la máquina excelente flotación (baja presión específica sobre el suelo) y estabilidad lo que posibilita trabajar en terreno poco consistente y sobre pendientes pronunciadas.

Si bien la distancia corta entre ejes, favorece la maniobrabilidad, el carro largo aumenta la flotación del tractor y mejora la adherencia. Este tipo es más conveniente pues si se aumenta el No. de rodillos de apoyo, la fuerza de empuje es mayor y la estabilidad longitudinal y transversal de la máquina es muy buena.

Los rodillos y pasadores deben distribuirse sobre las zapatas, de modo tal que los soportes y armazón de los carriles distribuyan los esfuerzos uniformemente.

III.3.1.7 Tensión del carril

Debe vigilarse la tensión del carril, que se extiende por el desgaste de las placas, ejes, casquillos, guías o ruedas dentadas, el carril debe tener una holgura entre 31.75 y 30.1 mm.

III.3.1.8 Alineación y ajuste del tren rodante

Las ruedas dentadas y de apoyo tienen que hallarse en línea. Cada 500 horas es necesario ajustar los pernos y las tuercas de los mecanismos sobre orugas. Algunos indicios de que estos no se hallan bien ajustados son:

- ◆ Desgaste rápido de una pestaña de la rueda, originado generalmente por mala alineación de la misma.
- ◆ Calentamiento de una rueda, aunque otra causa posible es la falta de lubricación.
- ◆ Gran consumo de lubricante. Si no va acompañado de calentamiento suele proceder de sellado defectuoso.
- ◆ Es conveniente no exigir a la máquina recorrer trayectorias largas en retroceso pues es una operación forzada que puede afectar el sistema de dirección y el tren rodante, más aun si se hace a alta velocidad.

La velocidad de desplazamiento de la máquina debe adaptarse al terreno.

Al descender pendientes pronunciadas, se utilizarán únicamente los frenos a fin de evitar sobrecalentamiento en el motor y transmisión.

Los cucharones cargados deben mantenerse a la menor altura posible para tener estabilidad y visibilidad.

La zona de trabajo estará en lo posible despejada y pareja. Además de prestar especial atención en el equilibrio de la máquina cuando trabaje cerca de desniveles bruscos de terreno.

III.3.1.9 Transmisión

Muchas ventajas se obtienen mediante la transmisión hidráulica compuesta por una unidad compacta con "convertidor de par" y "caja de cambios". Este sistema de transmisión permite el aumento del par motor en forma continua a medida que aumenta la resistencia lográndose una penetración eficaz y llenado efectivo de la cuchara.

El cambio de velocidad se realiza sin pedal de embrague, mientras la máquina está en movimiento y desarrollando el par máximo.

Se debe de contar con un programa de mantenimiento del equipo empleado, por tal motivo se recomienda emplear el Formato N° 6, presentado en el Capítulo 7 del presente manual, el cual sirve para llevar el registro del mantenimiento y las reparaciones que se realicen a cada uno de los equipos.

En la **Tabla III.8**, se menciona el mantenimiento preventivo que se recomienda realizar a cada tipo de maquinaria destinada para la operación del relleno sanitario, así como de algunos equipos utilizados.

| TABLA III.8 MANTENIMIENTO PREVENTIVO | | | | | |
|---|--------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------------------------|
| TIPOS DE MAQUINARIA | CAMBIO DE FILTROS | CAMBIO DE ACEITE | AFINACIÓN | ENGRASAD | AJUSTE DE PARTES MÓVILES |
| TRAXCAVO D ORUGAS | CADA 250 Hrs. | CADA 250 | | DIARIO | SEMANAL |
| TRACTOR DE ORUGAS | CADA 280 Hrs. | CADA 280 | | DIARIO | SEMANAL |
| RODILLO DE COMPACTACI | | | | DIARIO | SEMANAL |
| MOTOCONFORM ORA | CADA 300 Hrs. | CADA 300 | | DIARIO | SEMANAL |
| PIPA DE AGU | CADA 300 Km. | CADA 3000 | CADA 5000 | CADA 3000 Km. | CADA 3000 |

FUENTE: Gobierno de Antioquia, "Guía para el Diseño, Construcción y Operación de un Relleno Sanitario Manual", Medellín, Colombia, Abril, 1988.

III.3.1.10 Medidas de seguridad

A continuación se mencionan algunas de las medidas de seguridad tanto para el maquinista, la máquina y los trabajadores o personas que pudieran estar cerca.

Si el operador desciende de la máquina, aunque sea momentáneamente, debe cuidar que: la hoja topadora o el cucharón se hallen lo más bajo posible o en su defecto sobre el suelo, la máquina permanezca inmóvil y el motor apagado en lo posible.

Mientras funcione el motor no cargue combustible ni realice ajustes.

No acelerar a gran velocidad un motor turbo alimentado antes de apagarlo; es necesario dejarlo regulando en vacío por algunos minutos para que baje su temperatura.

No reparar la hoja y ningún otro equipo suspendido sin antes poner las cuñas necesarias; es más seguro dejarlos apoyados en el suelo.

Trabar la transmisión y los frenos al estacionarse. En caso de dejarla por varios días se apagará el encendido, quitar las llaves y cerrar el paso de combustible.

Si se deja la máquina sobre una pendiente, se ubicará transversalmente y se asegurará atrás y adelante con tacos o bloques.

Nunca deben llevarse acompañantes sobre la máquina ni elementos de distracción. Los pedales de frenos, las palancas y otros elementos no se utilizarán como descanso de pies y manos.

Se mantendrá limpia la máquina sobre todo el tren rodante pues la basura suele solidificarse y posteriormente se hace muy difícil su retiro. El operador debe maniobrar descansada y cómodamente.

La seguridad y rendimiento de los equipos destinados a un relleno sanitario depende íntegramente del hombre que se encuentra a cargo de su manejo. Muchos desperfectos y anomalías se logran evitar cuando el operario sea plenamente responsable de su trabajo.

Es importante también, la colaboración y apoyo de técnicos e ingenieros que controlan la obra, quienes protegerán y considerarán al operador, proporcionándole el equipo de seguridad necesario para realizar su trabajo

III.3.2 Habilitación de Espacios de Trabajo

Es muy conveniente que dentro de las instalaciones del relleno sanitario se cuente con un cobertizo donde se puedan realizar las labores de un taller de mantenimiento de las máquinas utilizadas en la operación del sitio, que a la vez sirva para resguardo de las mismas contra la intemperie, y cuando termine su jornada de trabajo.

El tamaño de estas instalaciones dependerá del número de máquinas con que cuente el sitio, para que puedan desarrollar las siguientes actividades:

- *Mantenimiento preventivo al equipo de confinamiento.*
- *Reparaciones menores de emergencia al equipo de confinamiento y vehículos.*
- *Almacenamiento de combustibles, lubricantes, refacciones y herramientas en general.*

La ubicación de este cobertizo podrá definirse en alguna zona cercana al frente de trabajo, y de preferencia se construirá con elementos que faciliten y agilicen su montaje y que sean reutilizables, ya que habrá que cambiarlas de lugar de acuerdo al avance.

III.3.3 Transporte Interno

Para el transporte interno de el residente y sus colaboradores o auxiliares, se deberá de contar con un vehículo para desplazarse dentro del sitio, ya que por la extensión de los predios requeridos para los sitios de disposición final, las distancias a recorrer desde las oficinas administrativas hasta los frentes de trabajo o algunos otros lugares dentro del mismo sitio donde requieran desplazarse por distintas causas (detener la descarga de residuos no aceptados en ese sitio, interceptar visitantes no autorizados, o alguna otra situación de emergencia), son considerables, y con este vehículo podrá tener un acceso más rápido a los lugares donde sean solicitados, y cumplir con sus labores de control más eficientemente.

III.3.4 Limpieza General

Para minimizar el impacto ocasionado por los elementos ligeros de la basura arrastrados por el viento hacia las zonas circundantes del relleno, es indispensable contar con un sistema de mallas móviles colocadas en el sentido en que sopla el viento.

Se requiere un mantenimiento permanente de este sistema, ya que se deteriora la calidad de la operación del relleno, además de invalidarse su función.

El encargado de las operaciones en el frente de trabajo, planeará diariamente la ubicación correcta de la malla móvil, a fin de minimizar la fuga y dispersión de los materiales ligeros.

Además de utilizar la malla se realizará la recolección de estos materiales ligeros, en las áreas aledañas al frente de trabajo, así como de los caminos, y si es necesario en la zona de la barda perimetral hacia donde sopla la corriente de aire, ya que generalmente es en ésta donde se detienen y acumulan los materiales que llega arrastrar el viento.

En la **Figura III.12**, se muestra un detalle de dicho sistema.

III.3.5 Mantenimiento de Instalaciones (caminos, báscula, cerca perimetral, oficinas, etc.)

III.3.5.1 Caminos interiores

Los caminos interiores deberán de mantenerse permanentemente, ya que generalmente se tienen serios problemas con atascamiento de las unidades vehiculares y perturbación de las operaciones diarias. Además, es indispensable mantener, en la medida de lo posible, húmedo los caminos para minimizar los problemas de generación de polvos, lo cual resulta ser muy negativo para la imagen del lugar y provoca la queja permanente de la población cercana al mismo.

Por lo anterior, se recomiendan las siguientes acciones:

- 1. Riego periódico de los caminos con aceite quemado o agua tratada, preferentemente en las horas pico de operación, para evitar la generación de polvo.***
- 2. Rellenar los baches para después compactar con pisón de mano.***
- 3. Las cunetas de los caminos deberán estar siempre libres de rocas, arena o residuos para evitar su azolvamiento.***
- 4. Mantenimiento de las condiciones de rodamiento de los caminos, preferentemente en horas inhábiles, para aprovechar el equipo pesado con el que dispone.***

III.3.5.2 Báscula

La báscula es un importante elemento dentro del relleno sanitario, pues gracias a ella conoceremos el peso de los residuos sólidos que ingresan al relleno sanitario, es muy importante mantenerla en buenas condiciones para no perder el control sobre estas cantidades, por lo tanto se deberán tener los siguientes cuidados:

-
- 1. Calibrar constantemente la báscula (al menos una vez al mes).**
 - 2. Proporcionarle un servicio regular de engrasado.**
 - 3. Procurar mantener limpia de polvo, residuos y lodo el área circundante a la báscula, así como revisar el interior para verificar que no se han introducido residuos, y si es así retirarlos.**
 - 4. Pintarla cuando menos una o dos veces al año, para mantenerla en buenas condiciones.**

III.3.5.3 Cerca perimetral

La cerca perimetral es la estructura que delimita el área del predio correspondiente al relleno sanitario, generalmente ésta consiste en una cerca de malla ciclónica, la cual constantemente se deberá revisar, y reparar si es necesario, para que cumpla perfectamente con su función de impedir el paso de animales domésticos y de personas ajenas al sitio de disposición final.

Generalmente los problemas que habrá que reparar son: los hoyos que generan las personas al cortar los alambres de la malla, entonces habrá que sustituir ese tramo de malla, enderezar los postes y tramos de malla que pudieran estar tirados o deformados, por que las personas o animales se recargan en estos, y rellenar los hoyos que llegan a hacer los animales en el terreno para pasar por abajo de la malla.

III.3.5.4 Oficinas generales y áreas de servicio

El aspecto en general de estas áreas es importante para la mejor aceptación del relleno sanitario por la opinión pública. Su mantenimiento consiste en realizar labores diarias de limpieza general, pintar las fachadas y muros de estos edificios cuando menos una vez por año, y que las instalaciones hidráulicas, eléctricas y sanitarias de que se encuentren dotados funcionen correctamente.

III.3.5.5 Mantenimiento de áreas verdes

Las áreas verdes son muy importantes dentro del sistema de relleno sanitario ya que son brindan una buena imagen del acceso y de las oficinas, y constituyen un elemento esencial en la estética del lugar y del paisaje, tal como lo es la barrera de amortiguamiento que se encuentra en la periferia del lugar. Su mantenimiento consistirá en los siguientes aspectos:

- **Poda periódica de las especies arbóreas (una vez por año).**
- **Riego (por lo menos tres veces por semana).**
- **Aplicación de herbicidas y plaguicidas (por lo menos cada trimestre).**
- **Poda y limpieza y riego de áreas jardinadas (con la mayor frecuencia que se requiera).**

Además de las áreas señaladas, se dará mantenimiento a la cubierta vegetal que se desarrolle en la superficie de las áreas clausuradas del relleno.

III.3.5.6 Mantenimiento del sistema de monitoreo

Los sistemas de monitoreo se utilizan para identificar los posibles impactos del relleno sanitario hacia el ambiente. Por ello se cuidará estrictamente se les de mantenimiento.

El mantenimiento en los pozos de monitoreo consiste en utilizar un malacate para evitar que se azolve y con ello se obstruya el flujo de biogas o de lixiviados. También hay que cuidar que no se inunden. Los asentamientos en las celdas se monitorean con los postes de referencia. Su mantenimiento consiste en renivelarlos cuando así lo requieran.

III.3.5.7 Vigilancia

Para el caso de las instalaciones que tienen interacción con el exterior del relleno sanitario, tal como, el cercado perimetral, la caseta y pluma de acceso, los sistemas de monitoreo de aguas subterráneas, es necesario que se brinde la vigilancia suficiente, a fin de evitar acciones vandálicas sobre dichas instalaciones. Es recomendable proveer de iluminación las áreas de acceso.

Por otra parte, existe la practica común del depósito clandestino de residuos sólidos en las inmediaciones del sitio de disposición final, en el horas inhábiles.

En este caso hay experiencia de la instalación de contenedores, para evitar tal situación o por el contrario la aplicación de sanciones a los infractores.

III.3.5.8 Cobertura final

En algunas ocasiones sobre la capa de sello final del relleno sanitario, se llegan a presentar ciertos problemas provocados por la acción de las lluvias y del viento, como por ejemplo: depresiones, grietas o erosiones. Es importante se reparen lo más pronto posible para evitar que los residuos queden al descubierto y provoquen problemas al medio ambiente. A continuación se analizarán cada uno de los principales problemas que posiblemente se presenten y las acciones encaminadas a solucionarlos.

Depresiones

Debido a la compactación natural sufrida por la basura al paso del tiempo, tienden a formarse en la cubierta final depresiones. Las acciones a tomar tienen como objetivo el evitar la acumulación del agua del lluvia y por consiguiente la infiltración de ésta a las capas de residuos (**Figura III.18**). Para realizar las reparaciones correspondientes, se deberá seguir el procedimiento que a continuación se presenta:

- 1.- Escarificar con pala, rastrillo o zapapico el área afectada a la profundidad de 10 cm, en caso de que sea un área extensa se puede usar la escarificadora de la motoniveladora.
- 2.- Colocar material de cubierta en capas de 40 cm. como máximo y compactar cada capa con material húmedo hasta lograr la superficie original.

Grietas.

Éstas se originan por efecto de los cambios de temperatura o por la mala calidad del material de cobertura. El procedimiento de reparación es el siguiente: (**Figura III.19**)

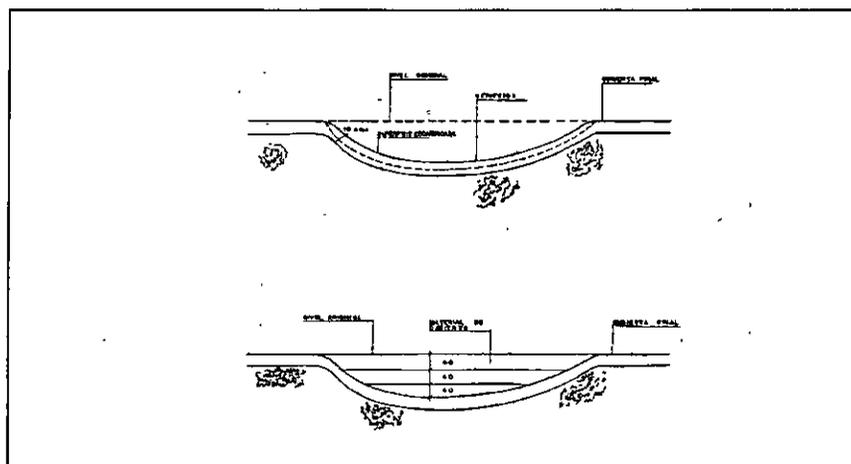
- Se descubrirá a cada lado de la grieta 20 cm. aproximadamente y a la profundidad que tenga la misma, posteriormente se humedecerá.
 - Se colocará material de cubierta húmedo y se procederá a compactar con pisón de mano hasta llegar a la superficie original.
-

Erosiones

La erosión provocada por la acción de la lluvia y el viento, éste fenómeno ocasiona que en taludes y terraplenes del relleno sanitario queden al descubierto los residuos sólidos (Figura III.20). El procedimiento de reparación es el siguiente:

1. Escarificar 10 cm. En la zona erosionada, ya sea con maquinaria o con herramientas manuales.
2. Humedecer el área erosionada
3. Reparar con material de cubierta hasta llegar a la superficie original.

FIGURA III.18 **DEPRESIONES**



FUENTE: SEDUE, MANUAL DE RELLENOS SANITARIOS, MÉXICO, 1985.

FIGURA III.19 **GRIETAS**

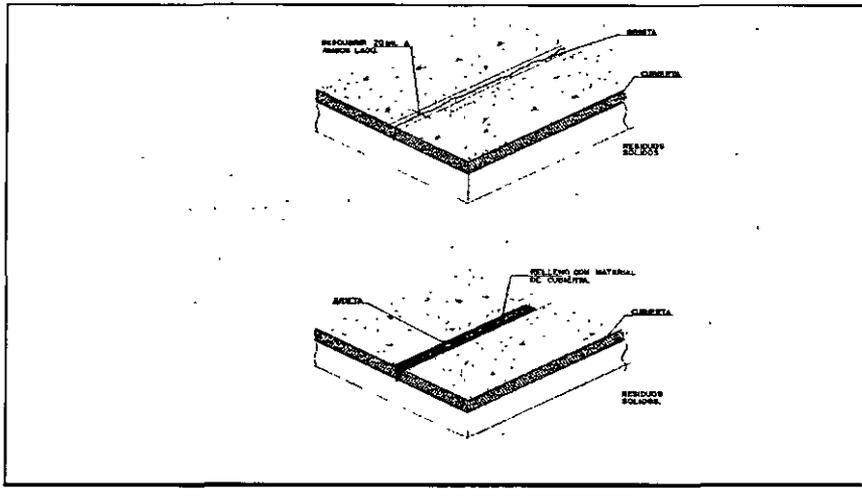
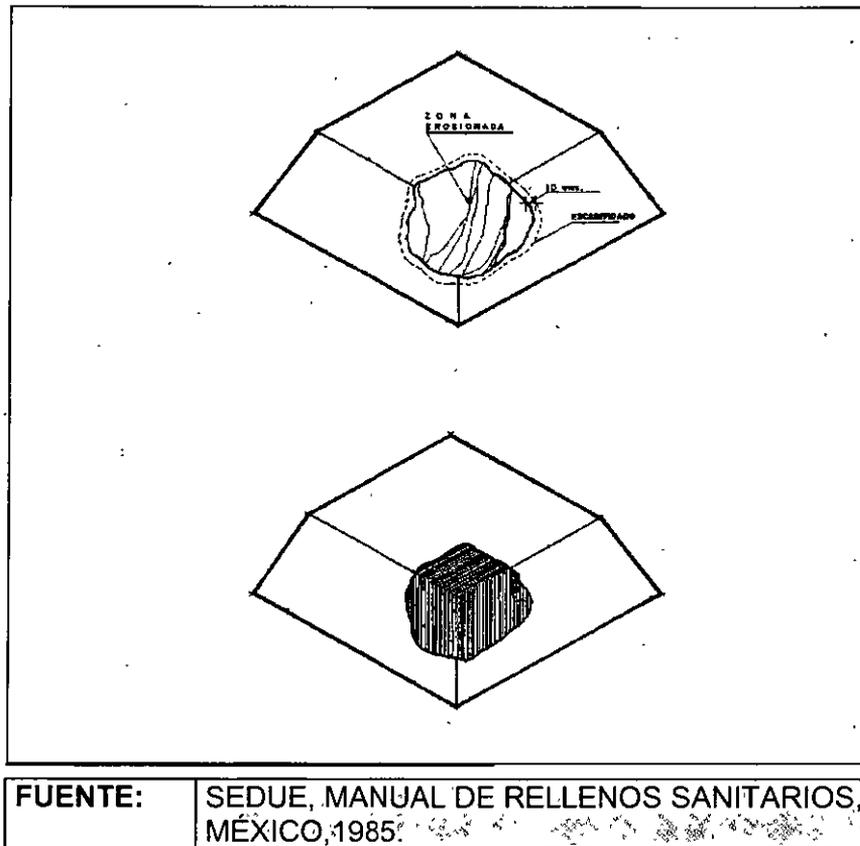


FIGURA III.20

EROSIONES



FUENTE:

SEDUE, MANUAL DE RELLENOS SANITARIOS,
MÉXICO, 1985.

III.4 PROCEDIMIENTOS DE MONITOREO

Para poder determinar la efectividad de cualquier sistema de control existente, para evaluar la necesidad de instalar otro adicional o para obtener la información requerida para su diseño, es necesario o deseable obtener una medida de la concentración y naturaleza de las emisiones de los rellenos sanitarios.

Este apartado lleva la intención de sugerir los lineamientos de un procedimiento estándar para el estudio de las emisiones provenientes de los rellenos sanitarios. Algunos de estos procedimientos ha sido necesario comenzar a aplicarlos en forma estándar y posteriormente adaptarlos al caso específico de los rellenos sanitarios, de los residuos sólidos o de las condiciones específicas bajo consideración.

Debido a las condiciones económicas y de tecnificación de los servicios públicos en México, es recomendable invertir en el saneamiento y control de la disposición final, antes de tratar de incursionar en la implementación de sistemas de monitoreo ambiental para la disposición de los residuos sólidos municipales. Dado que los tiraderos a cielo abierto existentes, así como los modificados (controlados), son fuentes de contaminación por excelencia, se tendrá una inversión más provechosa si primero se sanean y/o controlan y posteriormente se implementa el sistema de monitoreo, que ahora tendría la función de evaluar la efectividad de las obras de saneamiento. En el caso de los rellenos sanitarios, se ha observado que la tendencia es intensificar las medidas de control ambiental desde la etapa de

diseño y afortunadamente, cada vez existen más empresas en el país, con capacidad para realizar buenos diseños y construir adecuadamente dichas instalaciones, sin embargo, en muchos casos, la mala operación de los sitios, destroza los esfuerzos realizados en las etapas de selección de sitio, diseño y construcción, convirtiendo a los sitios originalmente concebidos como rellenos sanitarios, en verdaderos tiraderos a cielo abierto.

El establecimiento de sistemas de monitoreo ambiental, debe constituir una etapa posterior al mejoramiento de los sistemas de disposición final o en su defecto al establecimiento de sistemas de control ambiental en estos últimos.

El monitoreo ambiental de un relleno sanitario, debe ser un instrumento de vigilancia de las condiciones que pueden afectar la salud pública o el ambiente.

Una vez que se ha decidido establecer un sistema de monitoreo, se debe considerar que los lineamientos establecidos en este documento, están concebidos como ayuda para los propietarios y operadores de rellenos en el diseño e implementación de programas de monitoreo ambiental, tal como lo establecen los criterios internacionalmente aceptados para el manejo de rellenos sanitarios. Además, cabe mencionar que los programas de monitoreo exitosos, pueden posibilitar a los operadores de rellenos para demostrar que sus sitios reúnen dichos criterios de ejecución, y más aún, ayudarán a prevenir los impactos ambientales inaceptables o negativos a lo largo de la vida útil del relleno.

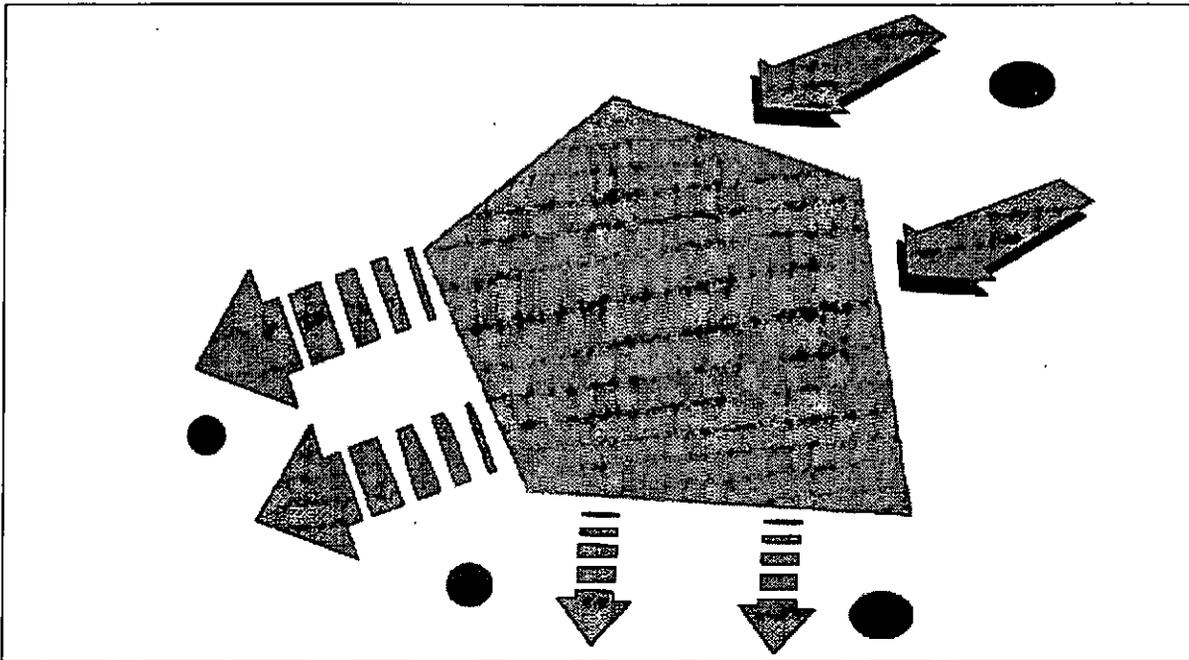
III.4.1 Monitoreo Ambiental de Rellenos Sanitarios

El monitoreo de aguas subterráneas en los rellenos tiene la intención de detectar la contaminación inaceptable del agua subterránea que resulta de la operación de los rellenos. El monitoreo de aguas superficiales en los rellenos sanitarios también es para detectar su contaminación en niveles inaceptables, que resulte de las operaciones realizadas en los rellenos. Los niveles aceptables de contaminantes para ambos casos, son especificados por las autoridades ambientales del país y estarán generalmente de acuerdo con los Criterios establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes, publicadas por la SEMARNAP, en el Diario Oficial de la Federación.

Para las aguas subterráneas, se recomienda preferentemente un arreglo mínimo de cuatro pozos, como se muestra en la **Figura III.21**. Con pozos construidos como en el croquis de la **Figura III. 22**.

FIGURA III.21

ARREGLO DE POZOS PARA MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS



FUENTE:

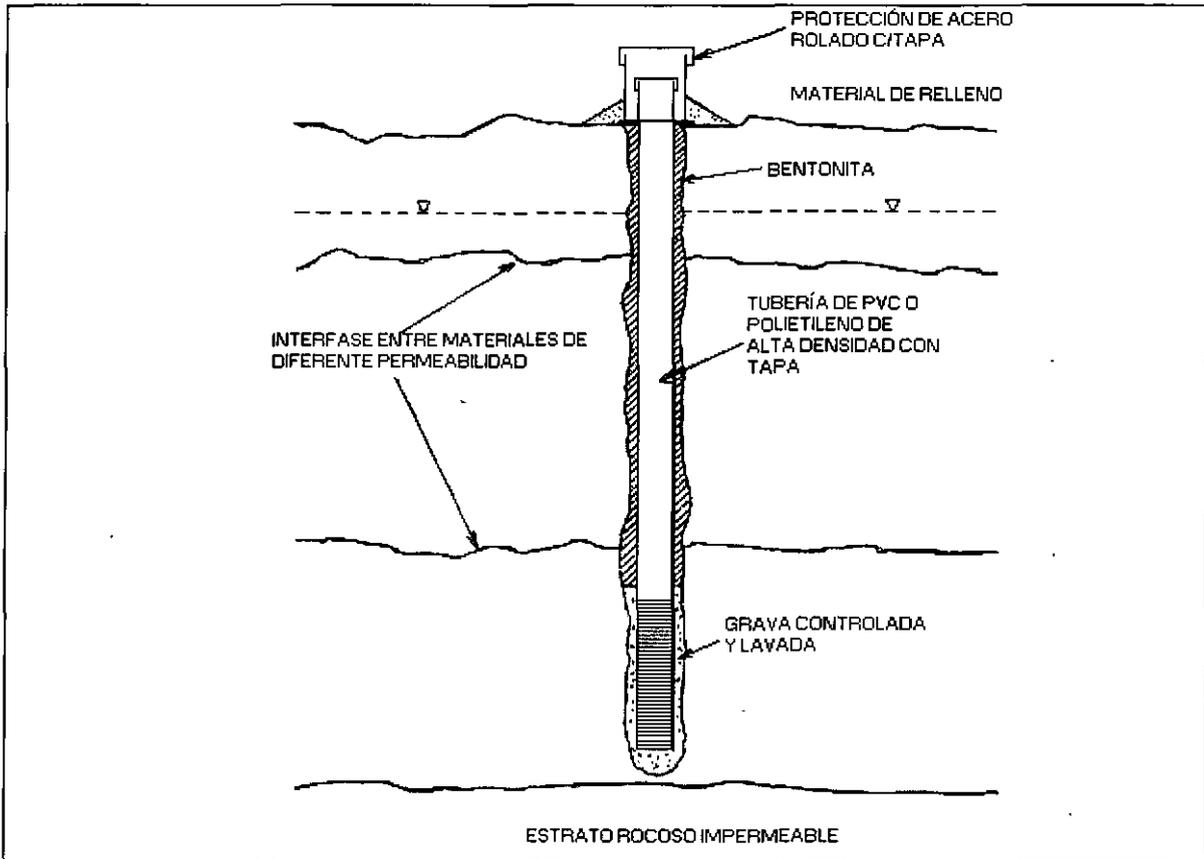
Solid Waste Association of North America. Training Sanitary Landfill Operating Personnel; Instructor Manual. USA, 1993.

Por otra parte, el monitoreo de lixiviados sirve para establecer la presencia de tendencias o irregularidades en dicho contaminante y proporcionar un estándar contra el cual se puedan comparar las irregularidades detectadas con respecto a las mediciones de fondo el agua subterránea. De esta manera, si se observa un cambio estadísticamente significativo en un parámetro, se podrá iniciar el diseño de un plan para una investigación más exhaustiva y el establecimiento de una acción correctiva. Para el monitoreo de lixiviados se recomienda construir pozos como en el que aparece en la Figura III.23.

El monitoreo del Gas de los Rellenos (GR) o Biogás tiene la intención de detectar sus emisiones inaceptables, resultantes de las operaciones del relleno. El metano (CH_4) y el Dióxido de Carbono (CO_2) son los mayores constituyentes del gas que se genera de la descomposición de los residuos depositados en los rellenos, sin embargo también contiene otros gases en cantidades traza, que incluyen compuestos orgánicos no-metánicos (CODM's), ácido sulfhídrico (H_2S), nitrógeno (N_2), hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2). Para el monitoreo de biogás se recomienda construir pozos como en el que aparece en la Figura III.24.

FIGURA III.22

ESQUEMA DE POZO PARA MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

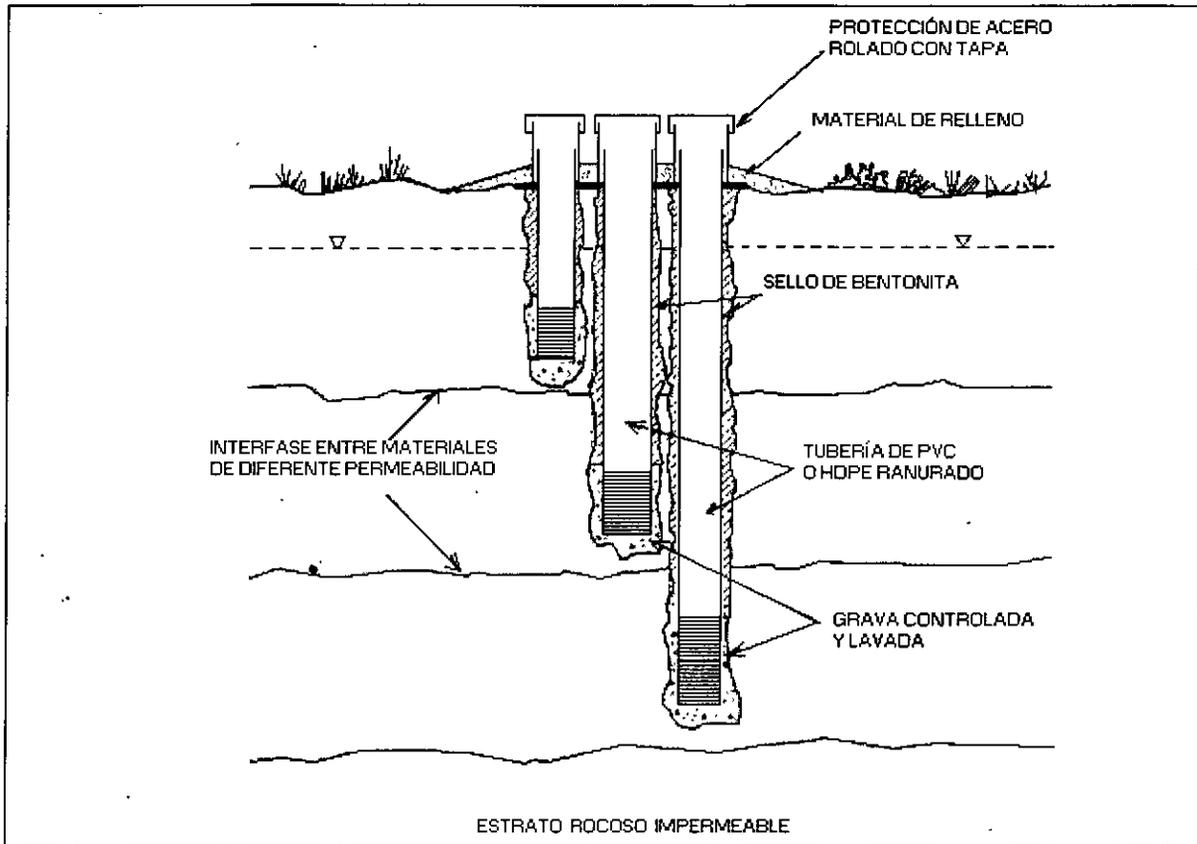


FUENTE:

INCREMI, S.A. DE C.V. 1996.

FIGURA III.23

BATERÍA DE POZOS PARA MONITOREO DE LIXIVIADOS



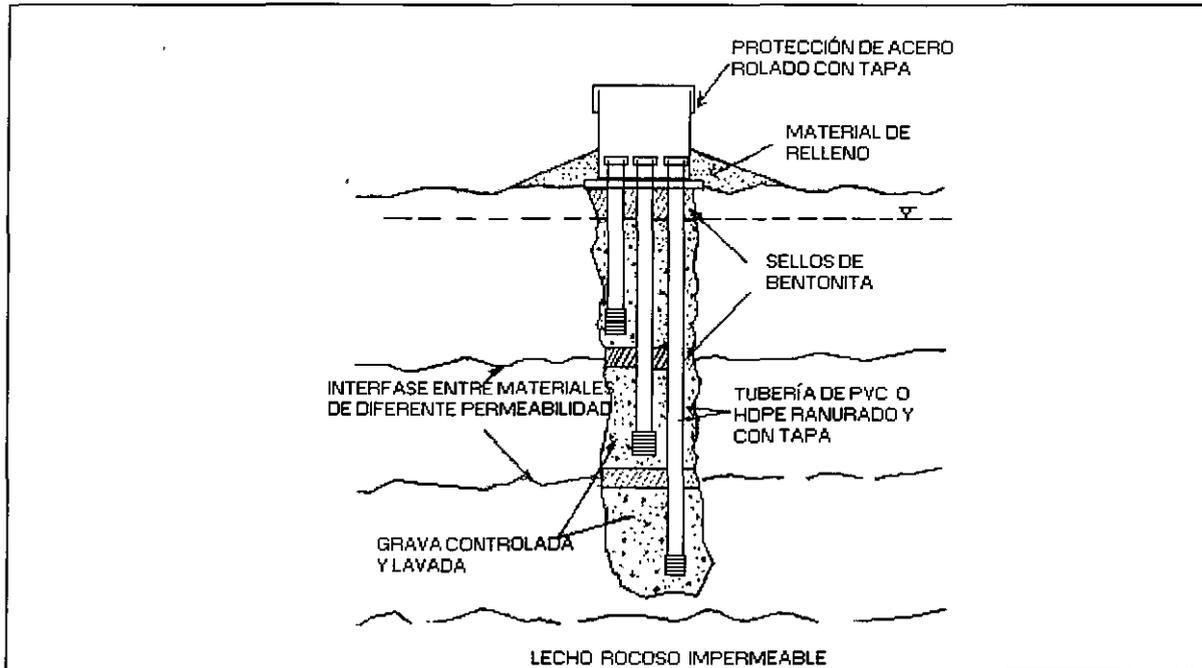
FUENTE:

INCREMI, S.A. DE C.V. 1996.

Todos los sitios de disposición final deben ser monitoreados, para detectar la presencia de biogás y determinar si este se encuentra en concentraciones que signifiquen un riesgo inaceptable para la salud humana y el ambiente. El área entre los sitios de disposición de residuos y las áreas habitacionales vecinas debe monitorearse, para poder determinar si los gases generados en el relleno, están migrando en esa dirección, en concentraciones no aceptables. Es recomendable, monitorear la presencia de los constituyentes del biogás en todos los sitios, antes de que se inicie la disposición de los primeros residuos recibidos. Esto permitirá la identificación de cualquier otra fuente de gas para las condiciones de fondo, evitando así cualquier interpretación errónea de resultados futuros.

La intoxicación de vegetales o su estrés con signos tales como la decoloración, muerte parcial o anomalías en el crecimiento, pueden indicar que el lixiviado o el biogás han migrado a la zona de raíces, ya que sus componentes pueden afectarlos.

El análisis de suelo puede ser utilizado para trazar los constituyentes del lixiviado, particularmente aquellos propensos al intercambio catiónico u otras reacciones de adsorción que no pueden obtenerse de muestras de agua (GLL, 1993).



FUENTE: INCREMI, S.A. DE C.V. 1996.

III.4.2 Tipos de Monitoreo

Es común que los geohidrólogos se inclinen al desarrollo de programas de monitoreo para el agua subterránea alrededor de los rellenos sanitarios y los ingenieros ambientales confían en los programas de monitoreo para el aire ambiente alrededor de los rellenos. Sin embargo es necesario que los ingenieros diseñadores y operadores de rellenos comprendan que la perspectiva para estos programas debe ser integral en el contexto de interacción del relleno con su ambiente vecino. En este sentido podemos decir que un programa de monitoreo debe asegurar la evaluación del sitio de disposición final en cuanto a su cumplimiento con todos los estándares y requisitos legales que actualmente existen.

El tipo de monitoreo a realizar dependerá del parámetro a medir, la instrumentación disponible, los objetivos que se persigan y en algunos casos de las condiciones meteorológicas y físicas del sitio.

Por ejemplo, podríamos enfrentarnos a la disyuntiva entre utilizar métodos que involucren la toma de una muestra y métodos que no requieran la toma de una muestra para su análisis en laboratorio, sino la medición en el sitio mismo.

Sin embargo podemos decir que existen dos tipos básicos de monitoreo que son el periódico y el continuo. El primero se realiza bajo un programa de mediciones a cada cierto intervalo de tiempo, mientras que el segundo, como su nombre lo establece implica la medición continua de los parámetros de interés.

Dependiendo del objetivo del programa de monitoreo y de las condiciones específicas, tanto temporales como permanentes, se deberá seleccionar alguna de las dos opciones mencionadas en el párrafo anterior, para cada uno de los parámetros de interés.

III.4.3 Parámetros

Los programas de monitoreo deben incluir como mínimo y dependiendo del relleno, evaluaciones frecuentes de aguas subterráneas, aguas superficiales, lixiviado, biogas y calidad del aire, según la naturaleza de la instalación y conforme a las particularidades de cada caso, así como los requerimientos legales correspondientes. Otros aspectos, tales como suelo y vegetación o fauna nociva, deben incluirse en el monitoreo cuando se evalúa un riesgo (**BC Environment, Junio de 1993**).

Los parámetros de rutina que se deben monitorear para el agua subterránea incluyen pH, potencial redox (Eh), oxígeno disuelto (OD), conductividad específica, metales, nitrógeno amoniacal, cloruros y demanda química de oxígeno (DQO); se pueden agregar otros parámetros a esta lista dependiendo del sitio y el objetivo específico. Para el monitoreo de metales, se recomienda evaluar regularmente los siguientes: antimonio, arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo, cobalto, cobre, plomo, níquel, selenio, plata, talio, vanadio y zinc. La práctica común en la industria es usar un flujo a través de una celda para medir los parámetros físicos.

En algunos casos también es conveniente medir dirección y velocidad de flujo, así como niveles hidráulicos. Los cambios de presión barométrica, pueden afectar la exactitud de las lecturas, en los acuíferos confinados y en algún grado también en los no confinados. En reconocimiento a este impacto potencial, se recomienda que se mida la presión barométrica en cada pozo de monitoreo y cuando se requiera, los datos deben ser corregidos para permitir la identificación clara de otras influencias en las alturas de los niveles. Adicionalmente las lecturas de elevaciones del agua subterránea, cuando sea posible deben tomar en consideración la interferencia local ocasionada por pozos de bombeo vecinos o el tráfico pesado en las cercanías de éstos.

Para las aguas superficiales se debe monitorear pH, potencial redox, conductancia específica, temperatura y concentraciones de oxígeno disuelto. Estos parámetros usualmente son suficientes para dar una indicación de cualquier cambio en la calidad inorgánica del agua. Las muestras siempre deben ser tomadas el mismo día que las medidas de campo y durante condiciones de flujo constante (Environment Canada, 1993).

La selección de los parámetros para el lixiviado debe estar basada en una evaluación a fondo de la calidad de los cuerpos de agua circundantes, tanto superficiales como subterráneos, la calidad del lixiviado puro (si es posible), así como la influencia hidrogeológica sobre el sitio.

La lista de **Tabla III.9**, presenta los parámetros recomendados para el monitoreo de lixiviados, ya que son comúnmente utilizados como indicadores para identificar posibilidades de contaminación y también aparecen sus valores típicos reportados en bibliografía (SWANA, 1991).

| | |
|--------------------|--|
| TABLA III.9 | PARÁMETROS INDICADORES PARA MONITOREO DE LIXIVIADOS |
|--------------------|--|

| PARÁMETRO | INTERVALO (mg/l) |
|-------------------------|------------------|
| pH | 5.3 - 8.5 |
| DQO | 3,000 - 45,000 |
| Cloruros | 100 - 3,000 |
| Nitritos | 5 - 40 |
| Nitrógeno amoniacal | 10 - 800 |
| Conductancia específica | ----- |
| Temperatura | ----- |
| Nivel de elevación | ----- |
| Sulfatos | 100 - 1,500 |
| Cianuros | <0.10 |

| | |
|----------------|---|
| FUENTE: | Solid Waste Association of North America. Manager of Landfill Operations. Tra Course. USA. Junio, 1991. |
|----------------|---|

También se puede hacer uso de algunos métodos indirectos (geofísicos) como una forma económica y relativamente rápida de mapear la migración conductiva del lixiviado.

Para el caso de biogas, se considera conveniente incluir al menos los parámetros que se muestran en la **Tabla III.10**; es necesario resaltar que el monitoreo de sus diferentes componentes, únicamente es recomendable, en los sitios en que se ha planeado su aprovechamiento, en los sitios en que se ha presentado el fenómeno de migración o bien en todos los sitios nuevos.

| | |
|---------------------|-------------------------------|
| TABLA III.10 | PARÁMETROS INDICADORES |
|---------------------|-------------------------------|

| PARA MONITOREO DE BIOGAS | | | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| PROPÓSITO DEL MONITOREO | EVALUACIÓN RIESGOS O IMPACTOS | EVALUACIÓN CONDICIONES FONDO | RUTINA | APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA |
| PARÁMETROS RECOMENDADO | Presión del gas en los pozos | Metano (CH ₄) | Presión del gas en los pozos | Metano (CH ₄) |
| | Temperatura ambiente | Dióxido de Carbono (CO ₂) | Temperatura ambiente | Dióxido de Carbono (CO ₂) |
| | Presión barométrica | Oxígeno (O ₂) | Presión barométrica | Oxígeno (O ₂) |
| | Precipitación pluvial durante el mes | Ácido Sulfhídrico (H ₂ S) | Precipitación pluvial durante el mes | Ácido Sulfhídrico (H ₂ S) |
| | Metano (CH ₄) | Nitrógeno (N ₂) | | Presión del gas en pozos y en línea |
| | Ácido Sulfhídrico (H ₂ S) | Hidrógeno (H ₂) | | Flujo de gas |
| | Dióxido de Carbono (CO ₂) | Compuestos Orgánicos No-Metánicos | Compuestos Orgánicos No-Metánicos | Humedad |
| FUENTE: | INCREMI, S.A. DE C.V., 1996 | | | |

El monitoreo de suelos, generalmente tiene la finalidad básica de recabar información, con fines de toma de decisiones para el establecimiento de medidas correctivas en suelos contaminados y en estos casos el análisis de suelo puede ser utilizado para detectar los componentes del lixiviado, particularmente aquellos propensos al intercambio catiónico u otras reacciones de adsorción que no pueden obtenerse de muestras de agua (GLL, 1993).

III.4.4 Frecuencia

Conforme a la experiencia obtenida de programas de monitoreo implementados y operados en otros países, se sabe que para las aguas subterráneas, el muestreo trimestral de rutina es suficiente para establecer la presencia de cualquier tendencia, identificarán cualquier cambio estadísticamente significativo y principalmente detectarán aquellos parámetros con valores mayores que los de los criterios. Sin embargo, la frecuencia de muestreo dependerá de la velocidad de movimiento de los contaminantes.

El monitoreo de aguas superficiales únicamente debe ser un componente de rutina, en los programas de monitoreo de rellenos sanitarios, cuando se sabe o se sospecha que el lixiviado está impactando las aguas superficiales de los alrededores o cuando se tiene alguna preocupación fundada sobre la calidad del agua subterránea. De otra forma el monitoreo será necesario normalmente al inicio y muy esporádicamente en etapas posteriores. La frecuencia mínima de muestreo sugerida para aguas superficiales, en sitios que representen un riesgo para los cuerpos de agua superficial, es de seis a ocho veces por año. Sin embargo, la evaluación de las tendencias anuales requerirá un muestreo mensual o más frecuente, mientras la evaluación de un evento específico (p.ej. periodo de bajo flujo) requerirá que el muestreo sea realizado únicamente durante el tiempo en que este ocurra. Las mediciones del flujo de aguas superficiales deben tomarse durante la colección de muestras.

La frecuencia mínima de muestreo sugerida para el lixiviado es similar a la requerida para aguas superficiales cuando el muestreo se realiza en afloramientos superficiales, es decir de seis a ocho veces por año o bien conforme a las necesidades del sitio para la evaluación de

eventos específicos. En este caso también las mediciones del flujo deben tomarse durante la colección de muestras.

El monitoreo de biogas debe realizarse en programas mensuales para identificar, en forma oportuna y efectiva, cualquier problema o posible problema antes de que ocurra, facilitando las acciones correctivas mediante la alarma (aviso) anticipada.

III.5 SEGURIDAD

Un accidente se puede definir como:

Un evento no intencional que interrumpe las prácticas o procedimientos normales

Un accidente puede causar paro o daño a los equipos o propiedades y/o lastimar al personal. El objetivo de un programa de seguridad es reducir la incidencia de los accidentes. Esto incluye accidentes que no produzcan lesiones a la gente o daños a la propiedad.

Un vehículo sufre una ponchadura mientras baja por una pendiente. Seguramente el conductor reducirá la velocidad, se orillara y cambiará la llanta. Esto es un accidente.

Otro vehículo también sufre una ponchadura mientras baja por una pendiente. El conductor pierde el control, se sale del camino, se vuelca. El vehículo se daña seriamente y el conductor resulta herido. Esto es el mismo accidente. Solamente los resultados son distintos.

III.5.1 Problemas de Lesiones en el Manejo de los Residuos Sólidos

Los datos recopilados en la última mitad de los 70's y principios de los 80's muestran que en USA la recolección de basura fue el segundo empleo más peligroso del país. Los estudios también muestran que la tasa de lesiones en los rellenos sanitarios fue casi la misma que para la recolección. Las lesiones ha empleados que no trabajan en las actividades del relleno, estuvieron incluidas en estas estadísticas algunos de los aspectos concluyentes de estos estudios son:

- Cada año cuatro de cada diez trabajadores de los residuos sólidos sufre una lesión que requiere más que primeros auxilios.
- Cerca de dos terceras partes de estas lesiones resultan en pérdida de días laborales
- El número promedio de días laborales es de 11.7 días
- Un trabajador de residuos sólidos tiene una probabilidad de perder un brazo o una pierna en 25 años de carrera laboral.
- Los trabajadores jóvenes tienen una mayor tasa de lesiones que los trabajadores experimentados. Los trabajadores experimentados pierden más días por lesión
- Los trabajadores que han laborado por menos de 6 meses tienen 3 veces más accidentes que los trabajadores que han laborado por más de 2 años.
- La tasa de lesiones para las empresas privadas es casi la misma que para la instituciones públicas

III.5.2 Prevención de Accidentes

Hay tres razones básicas para la prevención de los accidentes:

- La reducción del sufrimiento y el dolor humano
-

-
- Ahorro del dinero
 - El cumplimiento de las leyes y los reglamentos

La reducción del sufrimiento y el dolor es una razón suficiente para la prevención de accidentes. Sin embargo la reducción de los accidentes también produce grandes ahorros económicos. La compensación de los trabajadores accidentados generalmente implica altos costos. Algunos accidentes pueden ocasionar problemas legales y enormes gastos que incluyen los gastos legales. Se debe seguir fielmente la legislación o de lo contrario se incrementa el riesgo de problemas legales.

III.5.3 Programas de Seguridad

III.5.3.1 Definición

Programa de seguridad se puede definir como:

Un plan continuo de acción diseñado para regular la conducta humana y el lugar físico de trabajo con la finalidad de prevenir accidentes.

El lugar de trabajo debe hacerse lo más seguro posible. Sin embargo, los programas de seguridad para los empleados probablemente tendrán un mayor impacto en la reducción de los accidentes.

III.5.3.2 Actitudes humanas

La seguridad es un estado mental. Varios estudios han mostrado que la gente es descuidada. Esta gente tiene muchos accidentes. A estas personas se le llama "propensos a los accidentes". Algunas gentes son cuidadosas por naturaleza y estas tienen pocos accidentes. La gente que es descuidada en el hogar, no será cuidadosa en el trabajo. Inversamente, la gente que trabaja cuidadosamente en el hogar, también lo hará cuidadosamente en los lugares laborales. Esto significa que cualquier capacitación para la seguridad ayudará a la seguridad en el trabajo. El entrenamiento para el uso seguro de autos, lanchas, podadoras, etc., dará como resultado empleados que son más cuidadosos cuando operan un tractor compactador.

Los adultos aprenden mejor viendo y asiendo. Los adultos requieren de un aprendizaje repetido para recordar lo que se les enseñó.

III.5.3.3 Precauciones de seguridad

Generales

- Mantenerse lejos de los residuos prohibidos tales como líquidos, lodos, tambores, etc., no enterrar estos residuos. Seguir los procedimientos establecidos y notificar al supervisor.
 - Investigar los residuos sospechosos o de origen desconocido tales como polvos.
 - No permitir que aquellas personas que se encuentran bajo la influencia del alcohol o las drogas trabajen en el sitio o hagan uso del mismo.
 - No aceptar contenedores vacíos que hayan contenido anteriormente sustancias peligrosas o tóxicas a menos que tengan un certificado de seguridad.
-

-
- Mantener a los camiones de descarga automática de residuos a 4.5 m. de distancia de los vehículos contiguos.
 - No permitir distracciones y pérdida de tiempo en el arrea de disposición final.
 - Se debe prohibir fumar en el frente de trabajo o en superficies donde la basura no este cubierta.
 - No permitir que los niños bajen de los vehículos por ninguna causa y en ningún momento.
 - Se debe prohibir la pepena.
 - Se debe exigir que todo el personal firme o cheque para cada periodo de trabajo. Los registros deben ser inspeccionados al final del turno para asegurarse que todas las personas cumplan con esta disposición.
 - Se deben checar lo vehículos interior y exteriormente al final de cada turno.
 - Se deben establecer reglamentos para los conductores de los vehículos y sus ayudantes. Estos reglamentos deben ponerse en práctica. Esto se puede reforzar con un vídeo de las violaciones más comunes.

Equipo

Antes de comenzar, siempre se debe inspeccionar el equipo. Muchos accidentes se pueden evitar simplemente asegurándose de que el equipo se encuentra en condiciones adecuadas de operación. Esto se hace mejor con la ayuda de listas de chequeo que deben ser revisadas antes de dejar el equipo, todas las noches y revisando nuevamente estas listas antes de subirse al equipo y encenderlo por la mañana. Antes que todo asegúrese de no encender y operar el equipo si esta en malas condiciones.

Asegurece de tener visibilidad suficiente mientras opera el equipo. El frente de trabajo de un relleno es un lugar con mucha gente. Puede haber obreros, camiones recolectores y otros operadores trabajando al mismo tiempo en la misma área general. Asegurece de que tiene buena visibilidad entre su equipo y otra gente y equipos que estén operando en las cercanías. Se debe tener especial cuidado en observar los residuos voluminosos tales como electrodomésticos o troncos los cuales podrían volcarlo. Usted puede eliminar o reducir los accidentes a causa de poca visibilidad si:

- Inspecciona el suelo y el equipo por los cuatro lados antes de comenzar a moverlo.
 - Llevar las hojas empujadoras y otras implementos simulares de los tractores abajo para una mejor visibilidad y estabilidad.
 - Conducir a una velocidad segura conforme al terreno y el clima.
 - Asegurece de que el área ocupada con pequeñas montañas de residuos este libre de personas y equipos antes de comenzar a empujar los residuos.
 - Siempre cheque el área de trabajo en busca de otras personas y equipos. Recuerde que aunque
 - la pepena esta prohibida en los rellenos, muchos de los usuarios del sitio no están familiarizados con el peligro y se pueden volver demasiado torpes en su propio esfuerzo por evitar un accidente.
 - Si usted no esta seguro de las condiciones bájese y camine alrededor del área para ver si la máquina puede proceder en forma segura.
 - Obedezca las señales y mantenga a la vista a los otros vehículos. Debido a que el tráfico frecuentemente esta congestionado en un relleno sanitario pueden propiciarse condiciones que causen accidentes.
 - Cuando sea necesario trabaje con torretas u otros señalamientos para asegurar que los otros vehículos lo puedan ver. Debe estar al pendiente por si los otros conductores tienen
-

alguien a pie que les este ayudando a retroceder sus vehículos para colocarlos en la posición adecuada.

Cuando el equipo esta mojado por la lluvia es frecuente que haya resbalones o caídas. Adicionalmente, el equipo puede hacerse resbaloso por lo materiales que se manejan en el relleno. Se pueden prevenir los resbalones y caídas si:

- Siempre se tienen a la vista los riesgos
- Se tiene cuidado al pisar
- Se utilizan técnicas adecuadas para subir al equipo y bajar del mismo. Se utilizan los pasamanos y travesaños.
- No salta desde las máquinas
- No baje cuando el equipo esta en movimiento ni permita a otros que hagan lo mismo

Siga las reglas básicas del sentido común y la seguridad cuando opere su máquina. El uso inadecuado del equipo es otra causa de accidentes en los rellenos. Ya que todos los operadores del relleno se supone son experimentados en el uso de sus equipos, no hay excusa para los accidentes causados por el manejo inadecuado del equipo. Transportar personas de forma insegura frecuentemente es otra causa de accidentes. Para evitar accidentes:

- Opere el equipo únicamente desde el asiento del conductor
- Use el cinturón de seguridad mientras opere el equipo
- Únicamente transporte pasajeros autorizados y solo en los sitios especificados para estos fines.
- Mantenga los espacios adecuados entre la basura que este empujando y las personas o equipos adyacentes (entre 2.5 m. y 3 m. como mínimo).
- Opere hacia arriba y hacia abajo en las pendientes y evite los viajes transversales cuando sea posible.
- Nunca exceda la velocidad de operación especificada o recomendada
- Nunca deje su máquina abandonada en el área de relleno y menos con el motor encendido
- Asegure de que siempre haya un operador en el lugar del conductor si se tiene que acomodar un equipo.
- No opere el equipo cuando oscurezca a menos que se cuente con iluminación adecuada
- Asegure de que las bocinas de todos los equipos funcionan adecuadamente
- Descanse la hoja empujadora de los tractores y cualquier otro implemento similar firmemente sobre el suelo antes de bajarse de la máquina
- Siga las recomendaciones del fabricante del equipo para su reparación y mantenimiento
- No realice la primer pasada sobre los residuos depositados en el frente de trabajo con el tractor o compactador en reversa. El operador se encuentra deficientemente protegido y pueden ocurrir accidentes graves.
- Cuando se realice el mantenimiento de rutina del equipo recuerde que los gérmenes y los residuos químicos han estado en contacto con las superficies de su equipo. Asegure de limpiar el equipo antes de manipular sus partes y lavarse las manos y la cara antes de comer.

Equipo y Ropa de Protección

Siempre utilizar la ropa de protección y el equipo de seguridad. El personal que trabaja en el relleno siempre debe utilizar el equipo de seguridad. Los operadores han perdido manos, dedos, pies, lenguas y orejas porque no usaban el equipo adecuado. Es responsabilidad de

cada empleado ver que su equipo de seguridad este disponible y en buenas condiciones. El equipo de seguridad recomendado para el personal operativo de los rellenos sanitarios incluye:

- Tapones auditivos para protegerse los oídos de daños causados por el ruido del equipo
- Casco para proteger la cabeza de objetos que se caigan o salgan disparados.
- Radios que permitan una comunicación segura.
- Zapatos de seguridad para protegerse los pies de objetos que se caigan u objetos punzocortantes, así como con suelas antiderrapantes para prevenir las caídas y los resbalones en suficientes resbalosas.
- Overoles para resguardar al personal del sol, los insectos, el polvo y otros materiales.
- Lentes de seguridad para proteger los ojos de las partículas de polvo y otros objetos o materiales que salgan disparados
- Guantes para proteger las manos de los objetos punzocortantes
- Respiradores o mascararas para evitar que se respire polvo y otros materiales acarreados por el viento
- Chalecos fluorescentes (de color rojo, anaranjado o amarillo) para facilitar la visibilidad

III.5.4 Procedimientos de Emergencia

Se debe mantener a la vista los números telefónicos de bomberos, policía y escuadrón de rescate. Al personal de servicios de emergencia se le debe dar la oportunidad de revisar de inspeccionar el sitio por lo menos una vez al año. La revisión permitirá a este personal familiarizarse con los procedimientos y el personal del sitio antes de su reacción a una emergencia. Una semana de prevención de incendios puede ser una oportunidad adecuada para programar tales visitas.

Es responsabilidad del supervisor informar a los empleados de los procedimientos adecuados de emergencia y es responsabilidad de los empleados seguirlos. Estos procedimientos son diferentes de un sitio a otro.

Bibliografía: Tomado de: Manual para la Operación de Rellenos Sanitarios. Ing. Heriberto Bárcenas Ramírez. Congreso AMCRESPAC. Querétaro, 2002.

IV. CONSTRUCCIÓN DE RELLENO SANITARIO MANUAL

IV.1 RELLENO SANITARIO MANUAL

Para pequeñas localidades que generan menos de 40 toneladas de residuos sólidos, será necesario acotar los alcances establecidos en los principios básicos del relleno sanitario. La operación de un relleno sanitario manual (RSM) resulta ser una alternativa viable para la disposición final de los residuos sólidos en pequeñas cantidades.

Esta modalidad de operación requiere el uso de maquinaria únicamente en la preparación del sitio, caminos de acceso e internos y excavación de material de cubierta. La construcción de las celdas diarias y demás controles, se realizan de manera manual utilizando herramientas convencionales utilizadas en la albañilería y/o jardinería.

El presente capítulo aborda de manera general los aspectos requeridos para el proyecto, la construcción y la operación de un Relleno Sanitario Manual, considerando la simplicidad y rapidez de las actividades manuales y tratando de cumplir al máximo con los requisitos sanitarios y de control ambiental.

IV.2 ASPECTOS GENERALES

IV.2.1 Infraestructura Periférica

IV.2.1.1 Vías de acceso

El acceso al relleno sanitario preferentemente debe ser seleccionado buscando un camino de uso permanente y buen estado. Para la recepción de los residuos sólidos en el frente de trabajo, se acepta una pequeña carretera con una simple capa de grava y sus respectivos drenajes.

IV.2.1.2 Drenaje de aguas pluviales

Las aguas que caen sobre las áreas aledañas al relleno sanitario, deben ser controladas mediante un canal perimetral. El canal se puede construir desde una simple excavación hasta el recubrimiento con cemento, utilizando las pendientes y dimensiones necesarias para desviar y conducir las aguas de escurrimientos que drenen en dirección al sitio.

IV.2.2 Obras Necesarias para Adecuar el Terreno

IV.2.2.1 Limpieza y desmonte

En el sitio seleccionado se debe preparar un área que servirá de base al relleno, siendo necesario, la remoción de arbustos y algunos árboles, de tal manera que se facilite el acceso y la disponibilidad de un área suficiente para las operaciones. Esta limpieza debe hacerse por etapas de acuerdo con el avance del relleno, evitando así la erosión del terreno.

IV.2.2.2 Preparación de la base del relleno sanitario

Antes de iniciar las obras de preparación del sitio, se debe tomar la decisión sobre la necesidad de remover las primeras capas de suelo, dependiendo de la cantidad de material de cubierta disponible y de sus características. En algunos casos, puede ser ventajoso dejar el terreno intacto, con el fin de usar su capacidad de absorción y filtración para remover los lixiviados.

En la nivelación del suelo de soporte y en la apertura de zanjas se debe emplear equipo pesado (bulldozer y/o retroexcavadora), puesto que la excavación manual no es para ciertas condiciones eficiente. Asimismo, para la construcción de vías internas o extracción y almacenamiento de material de cobertura.

IV.2.2.3 Cortes

Los taludes del terreno se dejarán de tal manera que no causen erosión y puedan darle buena estabilidad al relleno. Estos podrán ser 1:1, 2:1, 3:1 (ver capítulo 3) dependiendo del tipo de suelo, y los cortes se harán en terrazas de uno a dos metros. El nivel del terreno debe tener una pendiente del 2%, para conducir por efecto de gravedad los escurrimientos pluviales y los lixiviados a través de los canales respectivos.

IV.2.3 Drenaje de Lixiviados

Como medidas de protección del agua superficial y subterránea se deben incluir:

-
- El RSM se debe construir a una altura mínima de 1.0-2.0 m (depende de las características del suelo), entre la parte inferior del relleno y el nivel del agua subterránea.
 - Desviar y canalizar los pequeños escurrimientos de agua, antes de iniciar la operación del relleno.
 - Interceptar y desviar el escurrimiento superficial, fuera del relleno.

Para pequeños volúmenes de lixiviado, se puede optar por su aspersión sobre el mismo relleno; lo anterior es posible tomando en cuenta:

Se deben construir en la base del RSM, drenes y canales de 10 a 15 cm de profundidad, llenos de piedra o grava. Con lo anterior se propicia la canalización lixiviado que se pueda producir, impidiendo su infiltración.

También se recomienda la construcción de dichos drenes al pie de talud de las plataformas que conforman el relleno sanitario. Estos drenajes pueden ser construidos mediante excavación manual y en lo posible estar interconectados, manteniendo una pendiente mínima del 2%.

Construida la zanja para el drenaje en la base del relleno, se procede a llenarla con piedras o material triturado (grava). Sobre las piedras se recomienda colocar un material que permita la percolación de los líquidos y que retenga el material fino que pueda obstruir el dren. En el relleno sanitario manual este efecto puede ser conseguido con ramas de helecho seco.

Otra manera de construir este drenaje en la base, es utilizando las llantas de los automotores que han sido desechadas, con lo cual se aprovecha un material voluminoso de poca o ninguna compactación en el Relleno, obteniendo una mayor capacidad de almacenamiento para los lixiviados. Una vez enterradas la llantas una junto a otra, se coloca una capa de 20 ó 30 cm de piedra, y el helecho como en el caso anterior.

IV.2.4 Venteo de Biogas

Se recomienda ventear adecuadamente el biogas a la atmósfera, mediante un simple conducto relleno de material permeable, que harán las veces de pozos, los cuales se construirán verticalmente desde el nivel de desplante, elevándose a medida que avanza el RSM y procurando siempre una buena compactación a su alrededor. Estos conductos podrán espaciarse cada 50 metros.

Una vez que se prevé la conclusión de la última celda, se colocan dos tubos de PVC, el primero perforado para facilitar la captación y salida de gases; y para que los desechos sólidos no obstruyan los orificios de dicho tubo, se debe colocar piedra o material triturado en el espacio anular, formado por el tubo y las paredes del pozo,

Para que se obtenga una mayor eficiencia en el drenaje de líquidos y gases en el Relleno Sanitario, los drenes deben ir interconectados.

IV.2.5 Accesos Internos

La planeación del RSM, se deben estudiar cuidadosamente los caminos interiores del área de trabajo, ya que por el permanente tránsito vehicular aumenta la posibilidad de originar serios trastornos principalmente en épocas lluviosas, puesto que en esta épocas la circulación de los

vehículos recolectores es impedida por el atascamiento que sufren al transitar por encima de las celdas ya conformadas, dada la baja densidad alcanzada mediante la compactación manual, además resulta difícil para los operarios construir las celdas diarias.

Una manera de resolver esta situación, es mediante la construcción de vías, empleando para ello troncos de madera o tabloncitos conformando un entarimado (**Figura IV.2**). Estos orillos deben ir unidos por medio de alambres de 1/8" de diámetro y el entarimado, cubierto con arena o piedra pequeña para evitar que los vehículos patinen sobre ellos. Este camino se construye de acuerdo al avance del Relleno y puede ser retirado para su reutilización. Se les debe procurar un buen drenaje, provisional en tierra.

Se construye por módulos de 3 m de longitud por 3 m de ancho. Se recomienda que sean armados en el sitio, el cual previamente debe estar bien compactado, para disminuir asentamientos.

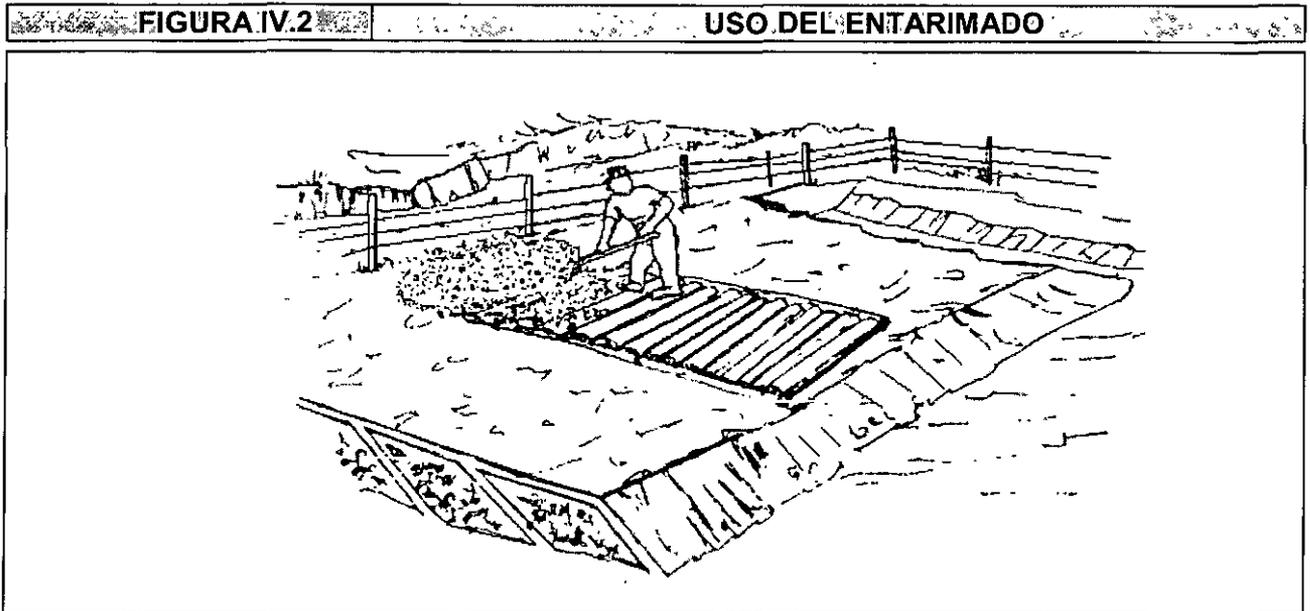
Se deben construir, mantener en buen estado y drenar los accesos al sitio de operación y control del relleno, aunque para el RSM sean rústicas, hechas en tierra, piedra y restos de demoliciones. A medida que el Relleno avanza los accesos y drenes tienen que ser rehechos y adecuados a las necesidades.



IV.2.6 Material de Cubierta.

El material de cubierta debe ser en lo posible extraído del sitio mediante la excavación manual de los taludes en forma de terrazas, cuando se emplea el método de área o combinado, para evitar la erosión del terreno, logrando además ampliar la vida útil del sitio.

Cuando sea escaso en el propio sitio, se debe garantizar su adquisición en forma permanente y suficiente, teniendo en cuenta su disponibilidad en lugares vecinos y los costos de acarreo. De lo contrario, es mejor descartar el lugar antes de iniciar cualquier trabajo, pues se corre el riesgo de convertirlo en un tiradero a cielo abierto.



Cuando se trabaja con el método de trinchera el material de cobertura está prácticamente asegurado.

Desde el punto de vista de la calidad del material de cobertura para un RSM, no se debe ser exigente. Se recomienda simplemente aprovechar el material que se encuentra a la mano, puesto que el objetivo fundamental es cubrir los desechos sólidos.

En cuanto a la cantidad de material de cubierta necesario, normalmente éste mantiene una relación con los residuos sólidos de 1:4 a 1:5 en volumen, es decir, debe emplearse 1 m³ de suelo (tierra) por cada 4 a 5 m³ de desechos sólidos, o sea entre un 20 a 25 %.

IV.2.7 Construcciones Auxiliares

Las construcciones auxiliares que se proponen, son pequeñas y de bajo costo, tratando de hacerlas compatibles con la vida útil prevista (mínimo cinco años en lo posible), puesto que el RSM va a ser operado utilizando mano de obra para las actividades locales, de manera que sean mínimas las inversiones temporales.

IV.2.7.1 Cerca Perimetral

Una cerca de alambre de púas con una puerta para facilitar la identificación, seguridad y disciplina en la obra. Es importante impedir el libre acceso del ganado al interior del Relleno, dado que éste no sólo entorpece la operación, sino también destruye las celdas.

También, es necesario conformar una cerca a base de árboles y arbustos como aislamiento visual y como reten de papeles y plásticos levantados por el viento. Se recomienda plantar árboles de rápido crecimiento (pino pátula, eucalipto, laurel, bambú, etc.).

IV.2.7.2. Caseta

La construcción de una caseta (30 m² aprox.) es importante como portería, lugar para guardar las herramientas, cambio de ropa, antes y después del trabajo, instalaciones sanitarias, una parrilla para calentar alimentos, y para resguardo de los trabajadores en el caso de fuerte aguacero.

IV.2.7.3 Instalación sanitaria

El sitio deberá contar con instalaciones mínimas que aseguren la comodidad y bienestar de los trabajadores. Para conseguir lo anterior se debe llevar agua al RSM para los servicios sanitarios; como mínimo se requiere construir una letrina.

IV.2.8 Equipo de Operación

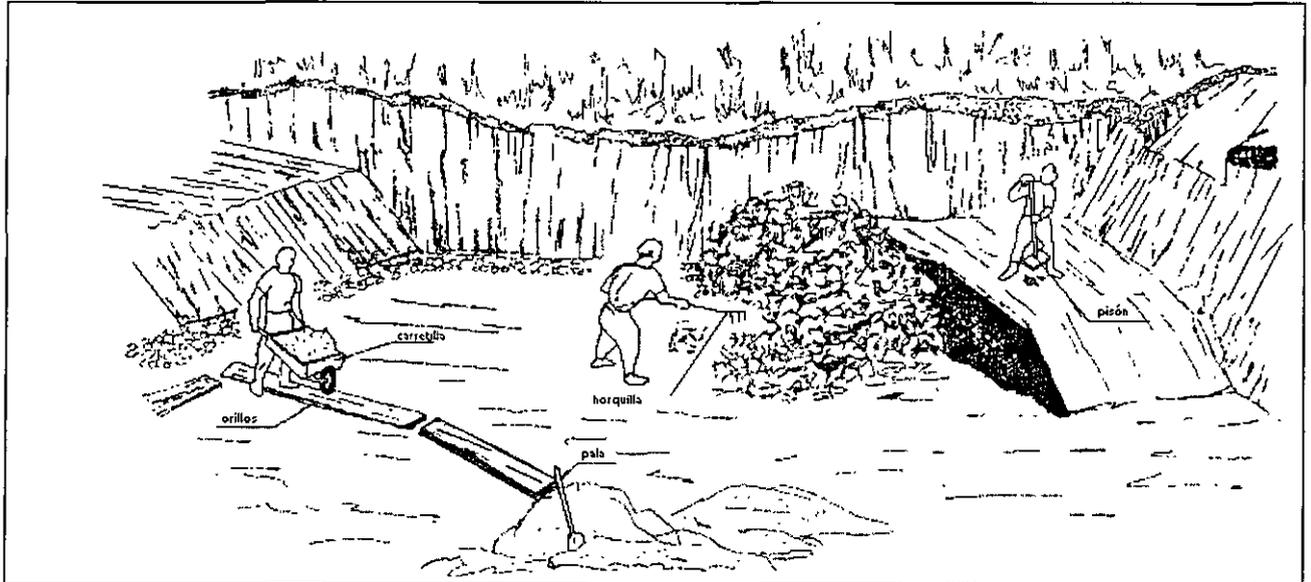
2.8.1 Herramientas y equipos

Para la operación del RSM, el equipo necesario se reduce al empleo de herramientas de albañilería, tales como: carretillas, palas, picos, azadones, barras, pisonos de madera, y al uso de horquillas o rastrillos y un rodillo compactador (**Figura IV.5.3 y IV.5.4**).

La cantidad de estas herramientas depende del número de trabajadores, y éstos a su vez de la cantidad de desechos sólidos a confinar en el Relleno.

Para el acarreo de material de cubierta o basura, sobre las celdas ya construidas, se recomienda la colocación en la superficie del RSM de unos tabloncillos en forma lineal para facilitar el desplazamiento de las carretillas, sobre todo en época de lluvias, mejorando los rendimientos de operación.

Es conveniente también llevar un control de las herramientas e implementos suministrados a los trabajadores tanto para su inventario, como para establecer el tiempo de reposición por daños.

FIGURA IV.3**USO DE HERRAMIENTA CONVENCIONAL
RELLENO SANITARIO MANUAL****IV.2.8.2 Mantenimiento.**

Una vez concluidas las labores diarias, las herramientas deben dejarse limpias y en caso de daños o quiebras, reparar o sustituir a la mayor brevedad.

Uno de los mayores problemas administrativos es el abastecimiento de materiales, del cual depende todo mantenimiento; por lo tanto es necesario planificarlo. Esto incluye la previsión de piezas y otros materiales que deben disponerse en depósito, en el almacén del Municipio.

IV.3 Operación DEL RELLENO SANITARIO MANUAL**IV.3.1 Procedimiento de Operación**

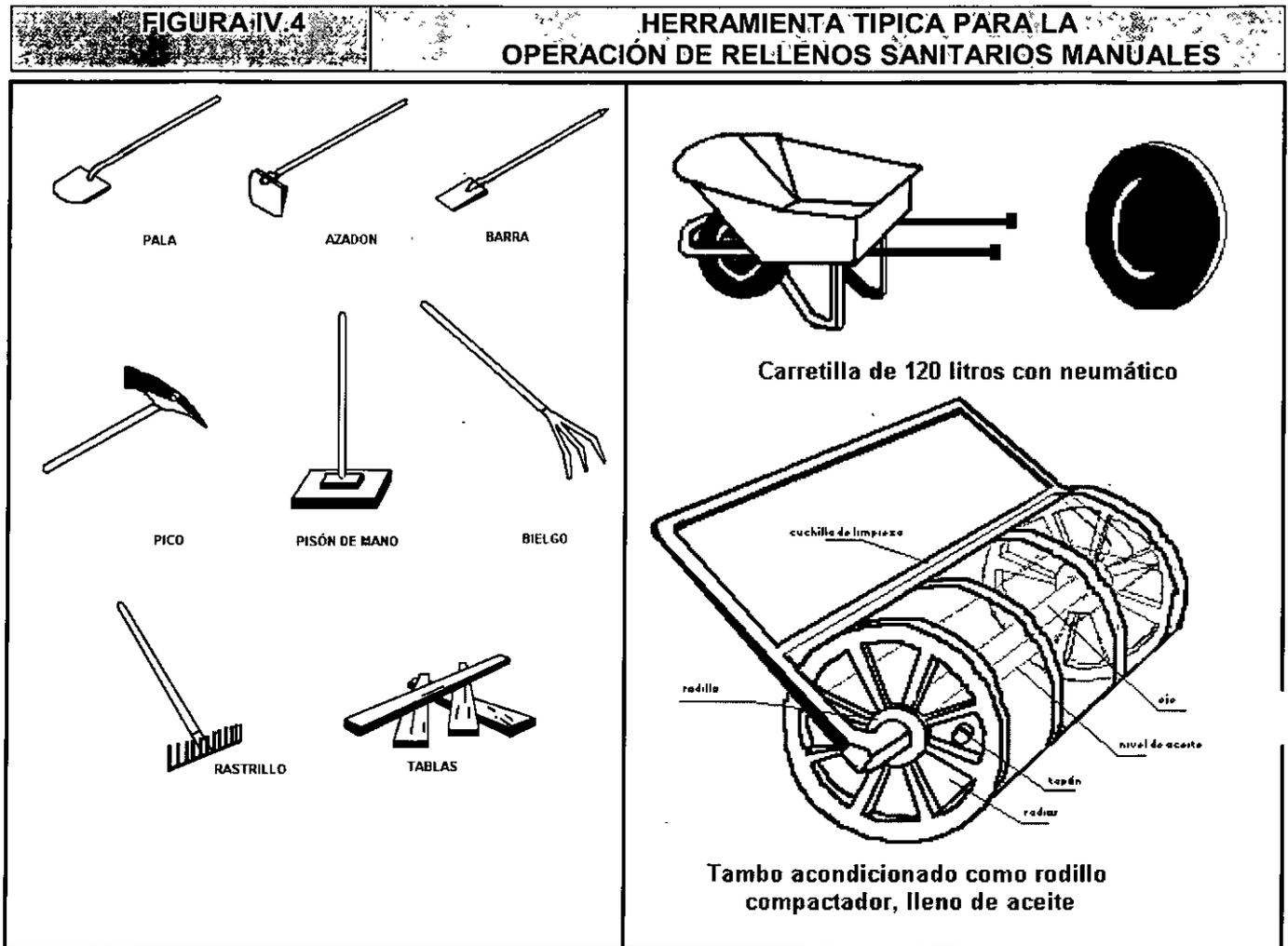
El método constructivo depende de las condiciones topográficas, de las características del suelo, y del nivel freático, lo cual va a definir la posibilidad o no, de extraer la tierra de cubierta de la propia área del relleno.

Siempre se debe proporcionar contención al relleno al iniciar la construcción, apoyando cada celda en el talud del terreno natural, en las paredes de una trinchera, o sobre otra celda ya terminada.

También es importante tener en cuenta, que los costos de acarreo de la tierra para la cubierta son mínimos, si se excava en el propio sitio, ya sea extrayendo la tierra de los taludes o partes altas, del fondo del terreno a rellenar, o de la apertura de trincheras (si el nivel freático lo permite).

Los residuos sólidos son esparcidos por los operarios, sobre la base del relleno o celdas ya terminadas en capas sucesivas de 20 a 30 cm empleando para ello horquillas o rastrillos, y se nivelan las superficies superiores y laterales, manteniendo los desechos sólidos apoyados en el talud del terreno, o en una celda ya terminada. Luego se procede a darle una primera

compactación por medio de los pisones de mano, hasta darle una relativa uniformidad y alcanzar la altura prevista de 80 cm de residuos por celda.



FUENTE: Gobierno de Antioquia, "Guía para el Diseño, Construcción y Operación de un Relleno Sanitario Manual", Medellín, Colombia, Abril, 1988.

El esparcimiento y compactación se harán en capas horizontales, éstas se colocarán en un pendiente de 1:3 (altura: avance) lo cual proporcionará mayor grado de compactación, mejor drenaje superficial, menor consumo de tierra, mejor contención y mayor estabilidad al relleno.

Para concluir la celda se recubre con una capa de tierra del orden de 15 a 20 cm, se esparce con la ayuda de carretillas, palas y azadón, y se compacta por medio de pisones de mano y rodillo de la misma forma que los residuos.

Dicha cobertura debe ser aplicada como mínimo una vez por cada día de operación, de este modo se evitará que los residuos queden expuestos a ser disgregados por el viento al terminar la labor, y menos aún, el fin de semana.

La tierra puede ser acumulada sobre otra celda terminada y de allí descender sobre la celda en conclusión.

En las Figuras IV.5 y IV.6, se ilustran los procedimientos de operación de relleno sanitario manual con los métodos de Área y Trinchera.

3.2 Fases de Construcción

El Relleno Sanitario Manual, por los método de área y combinado, se puede desplantar en plataformas o unidades de tres metros de altura, que serán asimilados como fases de construcción. Cada plataforma estará construida por tres celdas de 1 metro y servirá de base a la siguiente.

3.3 Disciplina.

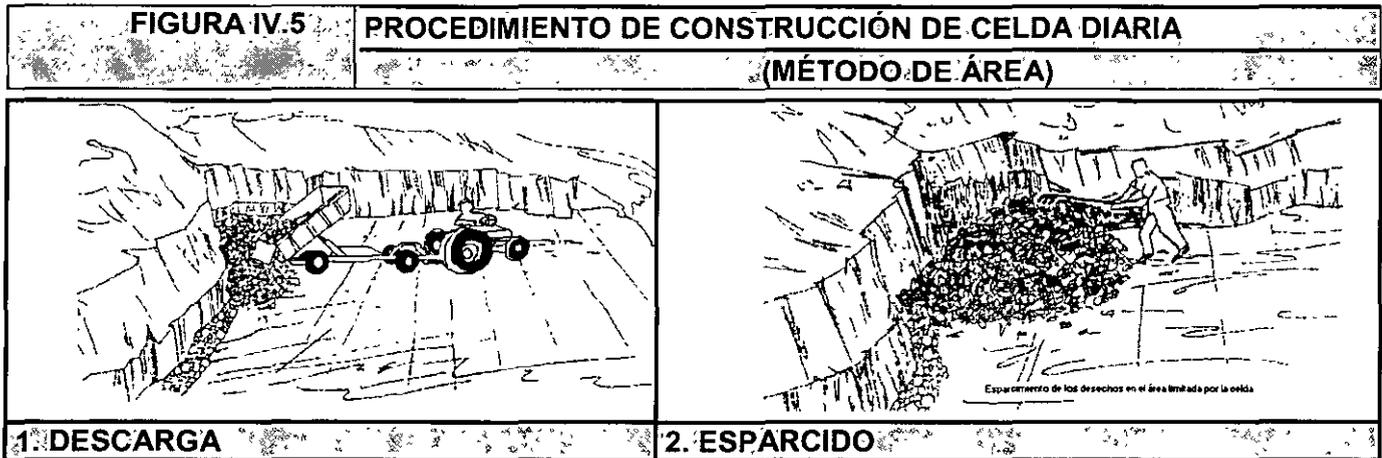
Los trabajos en el Relleno Sanitario deben ser organizados y mantenidos con disciplina, para alcanzar los objetivos propuestos, esto se logra a través de:

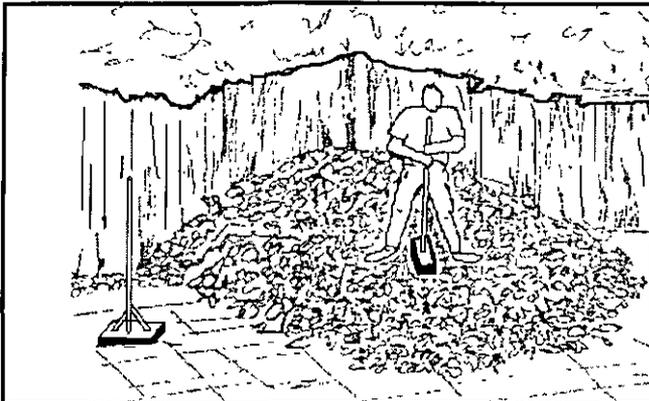
- Control del ingreso de residuos sólidos (caseta de control).
- Control del flujo de vehículos y personas (caseta de control).
- Orientación del tráfico y descarga (plaza de operaciones).
- Control del tamaño y conformación de las celdas, con su respectivo material de cubierta (supervisor).
- Distribución adecuada del programa de trabajo en el Relleno Sanitario Manual (supervisor).
- Cuidar el buen mantenimiento de las herramientas y dotación de implementos de protección de los trabajadores (supervisor).

Las vías de acceso, patio de maniobras, redes de drenaje pluvial y superficie terminada del relleno, deben mantenerse en buenas condiciones operativas.

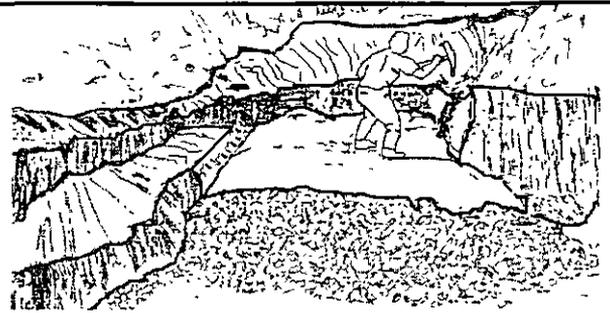
El costo de mantenimiento de los accesos, es inferior al de reparación por daño y paralización de un vehículo recolector. Por tal motivo deben almacenarse piedras, materiales de demolición y tierra adecuada. Al llegar al patio de maniobras, los vehículos deben ser orientados para descargar lo más cerca posible al frente de trabajo; el patio debe ser organizado y limpio.

La vigilancia debe impedir el ingreso de animales y personas extrañas, y la excavación de materiales de los residuos sólidos en las celdas ya conformadas.

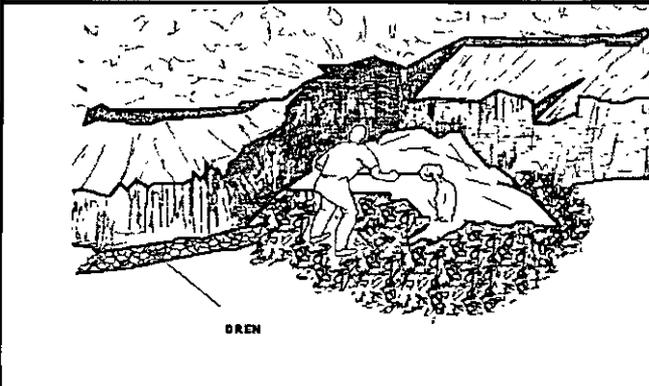




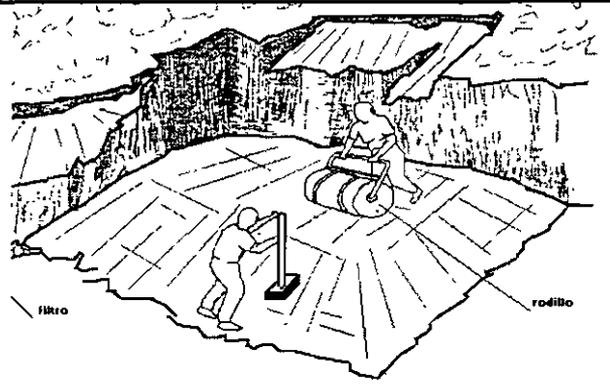
3. COMPACTACIÓN



4. EXTRACCIÓN DE MATERIAL DE CUBIERTA



5. COBERTURA DE RESIDUOS COMPACTADOS

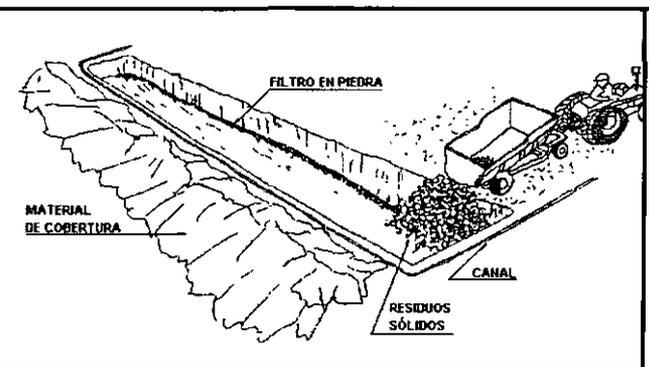


6. COMPACTACIÓN DE LA COBERTURA DIARIA

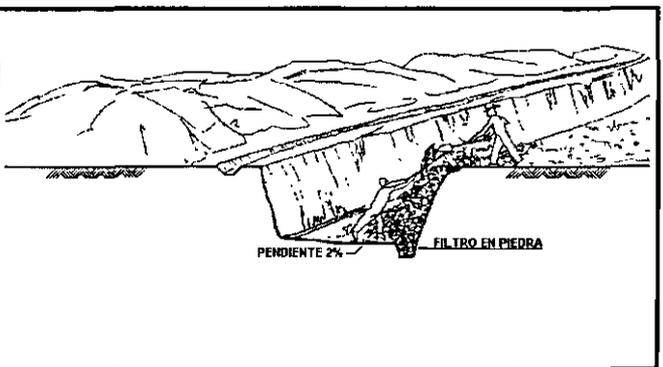
FUENTE: Gobierno de Antioquia, "Guía para el Diseño, Construcción y Operación de un Relleno Sanitario Manual", Medellín, Colombia, Abril, 1988.

FIGURA IV.6

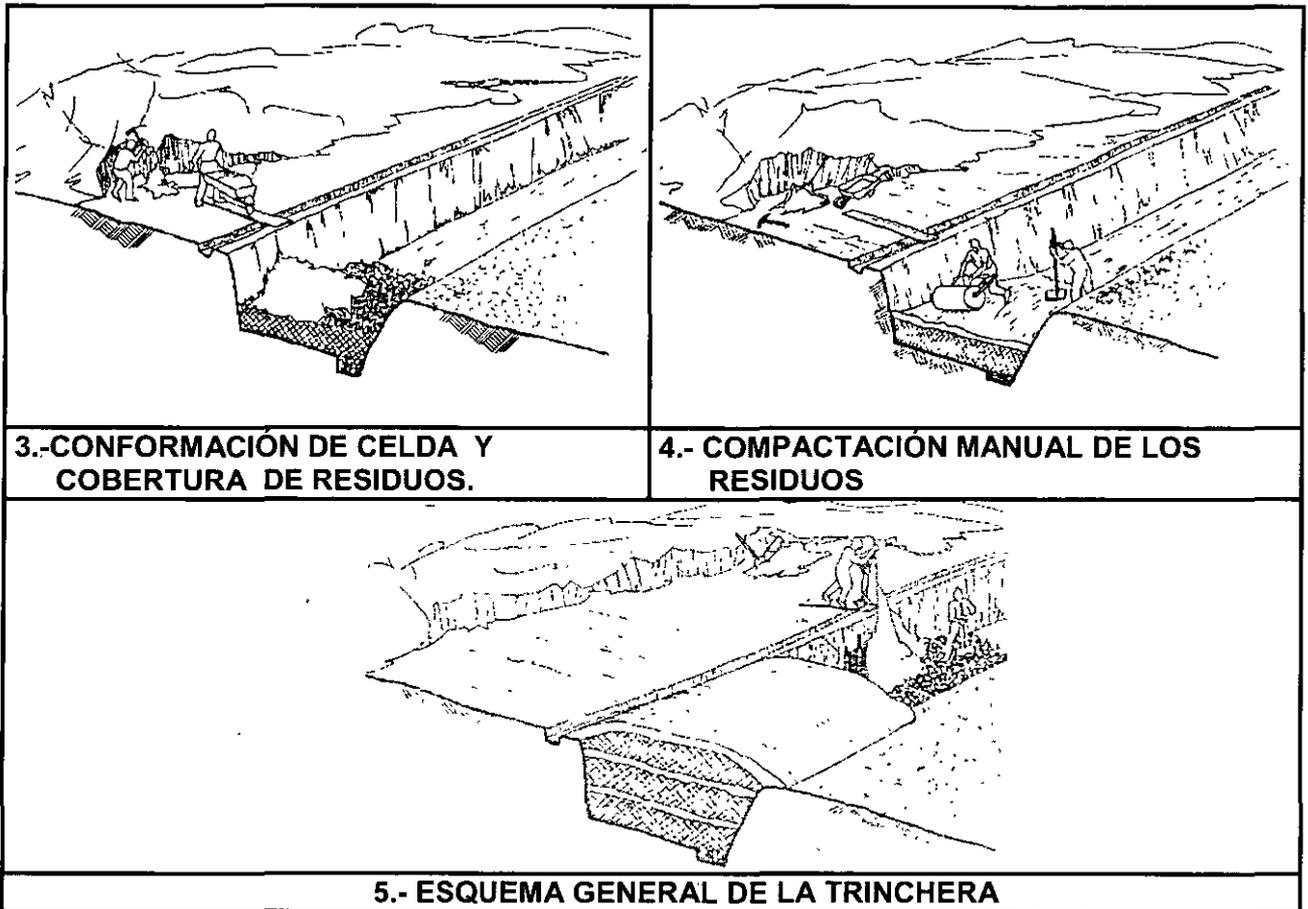
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CELDAS (MÉTODO DE TRINCHERA)



1.- DESCARGA DE RESIDUOS SÓLIDOS



2.- EMPUJE Y NIVELACIÓN



FUENTE: Gobierno de Antioquia, "Guía para el Diseño, Construcción y Operación de un Relleno Sanitario Manual", Medellín, Colombia, Abril, 1988.

Uno de los elementos más importantes en el Relleno Sanitario es un Supervisor que organice, dirija y controle las operaciones y que cuente además con todo el respaldo de la Administración Municipal. Si el RSM no tiene una buena supervisión, ni mantenimiento técnico y económico, fácilmente podrá convertirse en un tiradero a cielo abierto, con todos sus perjuicios.

3.4 Seguridad de Trabajo.

Las labores de trabajo en el servicio de aseo urbano (recolección, transporte y disposición final de basura), exponen constantemente a los trabajadores a adquirir enfermedades infecto-contagiosas por trabajar con residuos que pueden estar contaminados, y por otro lado el personal encargado de la recolección puede sufrir accidentes en la vía pública. Estos accidentes pueden tener dos orígenes: uno por condiciones inseguras de trabajo y otra por negligencia del propio trabajador.

Tradicionalmente las principales condiciones inseguras de trabajo son:

- Recoger los residuos con la mano, por no contar con los elementos necesarios como guantes y recogedores, lo que puede producir cortaduras en las manos al encontrar vidrios rotos o metales afilados.

-
- Almacenamiento inadecuado de los residuos en recipientes muy grandes que son difíciles de manejar, los mismos pueden producir desgaste excesivo del trabajador, o desgarramientos al ser levantados para su traslado y vaciado a los vehículos recolectores.
 - Jornada de trabajo excesivamente larga, causando la fatiga de los trabajadores.
 - Carencia de uniformes adecuados y equipos individuales de protección.

Entre los actos de negligencia del propio trabajador más comunes se pueden citar:

- **No usar el equipo individual de protección.**
- **Ingerir bebidas alcohólicas durante la jornada de trabajo.**
- **Forma indebida de levantamiento de recipientes u objetos pesados.**
- **No prestar atención al tráfico vehicular.**

A continuación se dan las siguientes recomendaciones para tratar de minimizar los problemas anteriores:

- Tratar de evaluar las causas de accidentes más comunes y dar las prevenciones del caso.
- Elaborar normas de seguridad de trabajo, con las respectivas indicaciones para el uso del equipo.
- Proporcionar al personal un local con los servicios básicos para su aseo y vestidores, con la finalidad de evitar cualquier contaminación o infección a terceros.
- Establecer un programa de exámenes médicos para que puedan ser identificados posibles daños a la salud de los operarios, asociados con la actividad relacionada con el manejo de los residuos sólidos.
- Mejorar la calidad del equipo y herramientas utilizadas en la disposición final de los residuos.
- Dotar a los trabajadores de guantes, botas y por lo menos de tres juegos de uniformes al año.
- El supervisor ejercerá el control para el efectivo cumplimiento de las normas de seguridad.

IV.3.5 ASENTAMIENTO Y ACABADO FINAL

Con el paso del tiempo los residuos sólidos sufren transformaciones debido a la actividad microbiana, descomponiéndose en gases y lixiviados, además de propiciar asentamientos diferenciales y hundimientos.

Los asentamientos diferenciales ocasionan depresiones en la superficie del terreno, donde se acumula el agua, lo cual debe evitarse, nivelando al terreno para un buen drenaje.

La construcción de la cubierta final requiere gran atención pues no sólo incide en el funcionamiento, sino también en la imagen final del relleno terminado.

IV.3.6 Control de Aguas

Se deberá conservar en buen estado, el drenaje pluvial periférico (canal en tierra y cunetas) y la superficie del relleno. También el patio de maniobras debe tener drenaje para no perjudicar el movimiento de los vehículos.

IV.3.7 Dependencia Administrativa

Para garantizar que el Relleno Sanitario Manual se construya y opere de conformidad con las especificaciones y recomendaciones dadas en este manual, y se cumplan con los objetivos del mismo, se hace necesario que tenga una administración.

IV.3.8 Participación de la Comunidad

A menudo el establecimiento de sitios para la construcción de rellenos sanitarios, encuentran oposición por parte del público, generalmente ocasionada, por falta de conocimiento, por evidente deficiencia operacional en este procedimiento, o por desconfianza en las administraciones locales.

La participación de la comunidad es vital para el éxito del programa, una vez implementado el proyecto de Relleno Sanitario Manual.

Esta participación debe promoverse , por ejemplo: con acercamiento directo a la comunidad, con educación sanitaria, o mediante publicidad.

Bibliografía: TOMADO DE: MANUAL PARA LA OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS. ING. HERIBERTO BÁRCENES RAMÍREZ. CONGRESO AMCRESPAC. QUERÉTARO, 2002.

V. INTRODUCCIÓN A LOS RIESGOS AL AMBIENTE Y LA SALUD POR LA EXPOSICIÓN A LOS RESIDUOS SÓLIDOS

El incremento en la generación de basura, sin una adecuada planeación, organización y operación del servicio, y la existencia de tiraderos a cielo abierto, representan un riesgo a la salud de la población y a la calidad de vida, así como una amenaza para los ecosistemas. Los principales problemas de contaminación ambiental y de salud que afectan a los pobladores de cualquier ciudad, son los siguientes:

- La contaminación del aire por olores, gases, aerosoles y partículas (por arrastres del viento de gases, polvos y humos generados en los sitios de disposición, así como por posibles incendios en los tiraderos y fugas de biogas a la atmósfera)
 - La contaminación de las aguas subterráneas y superficiales (por medio de los lixiviados, y arrastres en épocas de lluvias de contaminantes presentes en los suelos de dichos sitios), previa contaminación de los mismos.
-

-
- La presencia de fauna nociva y otros vectores como ratas, moscas, mosquitos, cucarachas, etc. transmisores de enfermedades y molestias a la población.
 - Los riesgos por exposición ocupacional a agentes contaminantes y a accidentes.
 - Deterioro de la imagen urbana

El aumento en la cobertura de calles barridas y en la frecuencia de la recolección, así como la adecuada disposición final, permiten disminuir los índices de infectación de vectores de la ciudad, lo que conllevará a la disminución del riesgo potencial de contraer diversas enfermedades o molestias asociadas a la exposición a los mismos

V.1 RIESGOS ASOCIADOS A LOS VECTORES

En la **tabla V.1** se exponen las enfermedades posibles a aparecer en la población en general, por proliferación de vectores, los cuales encuentran un hábitat adecuado en el deficiente manejo de los residuos sólidos en sus diferentes etapas.

V.2 RIESGOS ASOCIADOS A LA SOBREVIVENCIA DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS

En la **tabla V.2** podemos observar la sobrevivencia de algunos microorganismos patógenos en los residuos sólidos municipales, e inferir el alto riesgo que representa la no correcta disposición final de estos desechos para el ambiente, los ecosistemas y el hombre.

En la **tabla V.3** se reflejan los máximos tiempos (comunes y absolutos) de sobrevivencia de patógenos en suelos y vegetación.

Tabla V.1
Principales efectos nocivos a la salud humana asociados a la proliferación de vectores

| VECTOR | ENFERMEDAD | AGENTE ETIOLÓGICO | TRANSMISIÓN |
|--------------------|---|---|--|
| Mosca común | <ul style="list-style-type: none"> ◆ Fiebre tifoidea/Salmonelosis ◆ Shigelosis/Disentería/Diarrea infantil. Otras infecciones | <ul style="list-style-type: none"> ◆ Salmonella ◆ Shigella | <ul style="list-style-type: none"> ◆ Cont. de alimentos ◆ Contaminación de alimentos |
| Mosquitos | <ul style="list-style-type: none"> ◆ Paludismo ◆ Fiebre amarilla ◆ Dengue ◆ Encefalitis viral ◆ Tripanosomiasis (enf. de Chagas) ◆ Oncocercosis ◆ Leishmaniasis (úlceras del chiclero) | <ul style="list-style-type: none"> ◆ Plasmodium ◆ Flavivirus ◆ Flavivirus (denguevirus) ◆ Gran variedad de virus ◆ Trypanosoma Cruzy ◆ Onchocerca volvulus ◆ Leishmania spp. | <ul style="list-style-type: none"> ◆ saliva del mosquito Anopheles ◆ saliva del mosquito Aedes Albopictus ◆ saliva del mosquito Aedes Aegypti ◆ saliva de moscos Hematófagos ◆ mosca Triatómina (tse-tse) ◆ mosca género Simulium spp. ◆ mosca género Phlebotomus spp |
| Roedores | <ul style="list-style-type: none"> ◆ Peste bubónica ◆ Tifo murino/epidémico ◆ Tularemia ◆ Leptospirosis ◆ Fiebre de Haverhill ◆ Fiebre de Sodoku ◆ Rickettsiosis vesiculosa ◆ Meningitis linfocitaria ◆ Gastroenteritis ◆ Bruselosis ◆ Triquinosis ◆ Rabia ◆ Lepra | <ul style="list-style-type: none"> ◆ Pasteurella pestis ◆ Rickettsia Typhi ◆ Pasteurella tularensis ◆ Leptospira Icterohaemorrhagiae ◆ Streptobacillus moniliforme ◆ Spirillum minus ◆ Rickettsia akari ◆ Virus linfático coriomeningite ◆ Salmonella, E.Coli, etc ◆ Brucella Melintensis ◆ Trichinella spiralis ◆ Rabdovirus ◆ Micobacterium leprae | <ul style="list-style-type: none"> ◆ Pulga ◆ Pulga ◆ Mordedura ◆ Orina ◆ Mordedura ◆ Mordedura ◆ Mordedura ◆ Orina/secreción nasal ◆ Heces ◆ Orina ◆ Mordedura ◆ Mordedura ◆ Cont. de alimentos |
| Cucarachas | <ul style="list-style-type: none"> ◆ Cólera ◆ Fiebre tifoidea ◆ Gastroenteritis ◆ Lepra ◆ Infecc.intestinales/Di seteria/Intoxicación alimentaria | <ul style="list-style-type: none"> ◆ Vibrión Cholerae ◆ Salmonella ◆ Rotavirus ◆ Micobacterium leprae ◆ Diversos tipos de virus, bacterias y micro parásitos | <ul style="list-style-type: none"> ◆ Cont. de alimentos |

Fuente: Programa Nacional de Capacitación. The World Bank/SEDESOL/BANOBRAS,1997.

Tabla V.2
Tiempo de sobrevivencia de algunos microorganismos patógenos
en los Residuos Sólidos Municipales

| MICROORGANISMO | TIEMPO (días) |
|----------------------------------|--------------------|
| Salmonella Typhi | 29 – 70 |
| Entamoeba Histolytica | 8 – 12 |
| Ascaris Lumbricoides | 2 000 - 2 |
| Leptospira Interrogans | 500 |
| V.Legio Debilitans (polio virus) | 15 – 43 20 – 70 |
| Mycobacterium Tuberculosis | 150 – 180 |
| Protozoarios | 25 - 340 |

Fuente: K.F. Suberkroo and M. J. Klug, 1993.

Tabla V.3
Tiempo de sobrevivencia de patógenos en suelo y vegetación

| ORGANISMO | SUELO | | VEGETACIÓN | |
|-------------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| | MÁXIMO ABSOLUTO | MÁXIMO COMÚN | MÁXIMO ABSOLUTO | MÁXIMO COMÚN |
| Bacterias | 1 año | 2 meses | 6 meses | 1 mes |
| Virus | 1 año | 3 meses | 2 meses | 1 mes |
| Quistes de protozoarios | 10 días | 2 días | 5 días | 2 días |
| Huevos de helmintos | 7 años | 2 años | 5 meses | 1 mes |

Nota: Los períodos pueden aumentar si hay condiciones climáticas favorables.

Fuente: EPA, 1992 (1). (2)

(1) =EPA, Control of Pathogens and Vector Atraction in Sewage Sludge, USA, 1992, 152 pp.

(2) = Jiménez Cisneros Blanca E., Producción de biosólidos y su reuso como mejoradores de suelos, revista Federalismo y Desarrollo, 1999, pp. 75-86.

En la **tabla V.4** se puede observar la reducción de patógenos que se efectúa en el interior de un relleno sanitario por fermentación termofílica provocada por los microorganismos presentes en el mismo.

Tabla V.4
Porcentaje de destrucción de patógenos durante la fermentación anaeróbica

| TEMPERATURA (°C) | ORGANISMO | TIEMPO DE RETENCIÓN (DÍAS) | RANGO DE DECAIMIENTO (%) |
|------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 22-37 | Salmonella spp. | 6-20 | 82-96 |
| 22-37 | Salmonella typhosa | 6-20 | 99 |
| 30 | Mycobacterium tuberculosis | n.a. | 100 |
| 29 | Ascaris Lumbricoides | 15 | 90 |
| 35 | Poliovirus-I | 2 | 98.5 |

Fuente: Biogas technology in the Third World: a multidisciplinary review. Ottawa. Ont..IDRC. 1978.132p. : ill.

V.3 Riesgos ocupacionales

Son conocidos los efectos nocivos a la salud de tipo directo, que sufren los recolectores y segregadores del servicio de aseo público, debido a su contacto constante con los desechos, los cuales muchas veces ya se encuentran en estado de descomposición cuando son recogidos y en peor situación al ser depositados. Entre las principales afecciones ocupacionales reportadas por estos grupos de trabajadores, se encuentran:

1. Enfermedades infecciosas intestinales (parasitosis intestinales y enfermedades diarreicas agudas)
2. Enfermedades respiratorias
3. Enfermedades de la piel
4. Lesiones en manos, pies, espaldas, etc.
5. Infecciones genitourinarias (incluyendo las de transmisión sexual)
6. Hernias y padecimientos osteomusculares
7. Accidentes

V.4 Riesgos asociados a la salud pública

El adecuado control y vigilancia sobre el manejo integral de residuos sólidos, redundará en beneficios sensibles a la población en general, al eliminar la posibilidad de que animales comestibles y domésticos se alimenten con los residuos; lo que pudiera convertirse en causa de zoonosis de alto impacto en la salud como: triquinosis, cisticercosis, helmintiasis, intoxicaciones alimentarias, etc.

También el no quemar ni tirar inadecuadamente los residuos en sitios sin control, contribuirá de forma eficaz a evitar molestias a la ciudadanía, ya que se disminuye la proliferación de fauna nociva y aves de rapiña y aumenta el bienestar al no existir humos ni partículas producto de la quema indiscriminada e incontrolada.

VI. EJERCICIOS EVALUADOS

VI.1 CÁLCULO DE LA INTERFASE DEL SUELO PARA LA REMOCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN INORGÁNICA.

Se calculará el espesor de suelo capaz de remover los cationes (iones con carga positiva), presentes en una solución contaminante. Este espesor de suelo estará entre la superficie donde descargue el contaminante y el nivel de aguas freáticas (NAF).

- Paso 1: Se determinará la cantidad de miliequivalentes por litro (meq/l) de la solución contaminante.
- Paso 2 : Determinar los gramos de suelo necesarios para remover la concentración catiónica presente en un litro de solución contaminante.
- Paso 3: Determinar los m³ de suelo necesarios para eliminar la carga contaminante .
- Paso 4 : Mediante proporción calcular el espesor de la interfase.

Ejemplo: Determinar la cantidad de suelo necesaria para intercambiar los cationes presentes en 15 m³ de desechos líquidos descargados por una industria, si la densidad del suelo es de 1800kg/m³, y su capacidad de intercambio catiónico (CIC)=25 meq/100 gramos de suelo.

La composición de la descarga es la siguiente:

| Catión | Conc (mg/l) | Peso atómico | Peso Equivalente (mg/meq) | Conc (meq/l) |
|------------------|-------------|--------------|---------------------------|--------------|
| Ca ⁺⁺ | 800 | 40 | 20 | 40 (800/20) |
| Mg ⁺⁺ | 1 000 | 24.3 | 12.5 | 82.3 |
| Na ⁺ | 150 | 23 | 23 | 6.5 |
| Fe ⁺⁺ | 60 | 56 | 28 | 2.14 |
| Zn ⁺⁺ | 600 | 65.3 | 32.6 | 18.64 |
| TOTAL | | | | 149.8 |

Peso equivalente = Peso atómico/valencia (número de oxidación) = mg/meq
149.8=150 meq/l

Las sustancias químicas reaccionan de equivalente a equivalente. El equivalente es el peso molecular o atómico, según el caso, dividido por el número de oxidación o valencia.

Capacidad de intercambio catiónico, como su nombre lo indica es referente a los elementos o sustancias con carga positiva (cationes).

Como dato necesito la **densidad del suelo y la capacidad de intercambio catiónico** del suelo.

Paso 2 = (150 meq/l sol.contaminante)(15 000 l sol.cont.)(100g de suelo/25 meq suelo)(1kg suelo/1000 g de suelo) = **9 000 kg de suelo**

Para calcular los m³ de suelo necesarios

Paso 3 = (9 000 kg de suelo)/(1800 kg de suelo) = **5 m³ suelo**

Asumiendo que el área receptora de suelo sea de 1 m² con 5m de profundidad podríamos deshacernos de la carga (1 m²)(5m)=5 m³.

Si el nivel freático estuviera muy cerca, aumentaríamos el área a por ejemplo 2.5 m² y entonces con sólo 2 m de profundidad, eliminaríamos la carga contaminante (2.5m²)(2m) = 5 m³.

Para lixiviados de rellenos sanitarios, se propone una interfase de suelo de 4 veces la calculada.

Esta propiedad del suelo (**CIC**), es el principal mecanismo utilizado para calcular la interfase de suelo necesaria para la remoción de la contaminación por carga inorgánica.

VI. EJERCICIOS EVALUADOS

VI.2 CÁLCULO DE LA VIDA ÚTIL DE UN SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL.

Paso 1: Determinar la población (habitantes) del año base, y de ahí en adelante calcular la población a partir de la tasa de crecimiento, si se conoce.

Paso 2: Una vez conocida la generación per cápita (kg/hab.día) y el aumento de generación anual (puede asumirse 1 %), se multiplica el valor de cada año por el aumento de dicha generación.

Paso 3: Multiplicar población por generación, que nos dará kg/día, luego lo multiplicamos por **0.365** y obtenemos ton/año (La cifra sale del análisis dimensional).

Paso 4: Dividir entre el peso volumétrico (ton/m³) para obtener m³/año.

Paso 5: El material de cobertura de la celda puede estar entre 10 y 20% del volumen calculado anual, para fines de protección del calculista, se utiliza 0.20%.

Paso 6: m³ anuales totales = m³/año + 0.20 m³/año

Paso 7: Volumen total acumulado = Suma de 1 año + el que le precede (anterior).

Ejercicio

Determinar la vida útil de un sitio de disposición final (relleno sanitario), si de la topografía se ha encontrado que se puede contar con un volumen aprovechable de 80 000 m³. La generación per cápita es de 0.5 kg/hab.día con una tasa de crecimiento anual de 1% y la población en el año 2008 es de 100 000 habitantes con un crecimiento anual del 2%. El peso volumétrico de los residuos es de 800 kg/m³ y el material de cobertura es del 15% anual.

Expresar la respuesta en años, meses y días.

VI. EJERCICIOS EVALUADOS

VI.3 CÁLCULO DE LA GENERACIÓN DE BIOGAS PRODUCIDO EN UN RELLENO SANITARIO.

Estimar la cantidad de biogas producido en un relleno sanitario por unidad de peso de residuos sólidos depositados, contando con que el contenido de humedad es del 30%, y está asociado a la materia orgánica exclusivamente. El peso volumétrico en las celdas es de 1000 kg/m³. Los residuos de alimentos, el papel, el cartón y la madera son los materiales que se descompondrán anaeróbicamente al 100% y los residuos de jardinería al 75%. Se dispone de la siguiente información en cuanto a la composición física y química de los residuos sólidos.

Cuadro 1
Composición Física (Estudio de campo)

| Características de los residuos | (% en peso) |
|--|---------------------|
| Residuos de alimentos | 37.32 |
| Residuos de jardinería | 3.27 |
| Papel | 14.22 |
| Cartón | 1.44 |
| Vidrio | 8.90 |
| Residuos finos | 6.65 |
| Plástico | 12.60 |
| Metales | 9.50 |
| Otros | 6.25 |
| TOTAL | 100 (aprox.) |

Cuadro 2
Composición química (Laboratorio)

| Elemento | % (base seca) |
|-----------------|----------------------|
| Carbono (C) | 43.02 |
| Hidrógeno (H) | 5.96 |
| Oxígeno (O) | 49.08 |
| Nitrógeno (N) | 1.94 |
| TOTAL | 100 (aprox.) |

El azufre (S) no se considera, porque su fracción en peso es generalmente menor al 1%.

Con esta información se puede calcular la cantidad de biogas en peso y volúmen, y la composición porcentual de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) en el mismo.

Paso 1. Determinación de la cantidad de residuos orgánicos base seca por ton o m³ de residuos sólidos.

(Aquí a los residuos orgánicos. hay que restarle el % de humedad del contenido total)

Paso 2. Determinar la materia orgánica degradable.

La degradación anaeróbica, se efectúa en aquella porción que se transforma en materia volátil, que es generalmente del 95%, quedando sólo un 5% como cenizas.

$$m.o. \text{ degradable} = V \cdot \frac{\text{materia orgánica base seca}}{\text{materia orgánica base húmeda}} \times \sum Si \cdot di$$

Si= Peso de cada subproducto orgánico

di= Degradabilidad en % de cada subproducto orgánico

V= Fracción volátil (casi siempre 95%)

Paso 3. Determinación de la fórmula química teórica de la materia orgánica contenida en los residuos.

Cuadro 3
Pesos atómicos de los elementos químicos

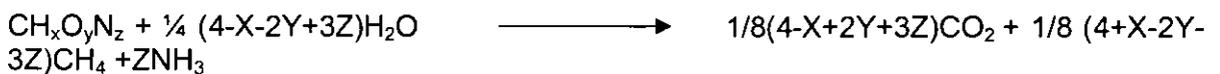
| Elemento | Peso atómico |
|----------|--------------|
| C | 12 |
| H | 1 |
| O | 16 |
| N | 14 |

Según los átomos de C, H, O, y N que obtenga, así quedará la fórmula teórica mínima que representa la fracción orgánica de los desechos sólidos.



Paso 4. Determinación del peso de CH₄ y CO₂ producido, así como el peso de biogas. Determinar los % en peso de cada gas.

Se sustituye en la ecuación química estequiométrica que gobierna la degradación anaeróbica de los residuos sólidos orgánicos.



Paso 5. Conversión a volúmenes. Determinar volumen de cada gas y total, así como el % en volumen de cada uno.

De acuerdo a las densidades del CO₂ y el CH₄

Densidad del CO₂= 1.9768 g/l

Densidad del CH₄= 0.7167 g/l
