

5-



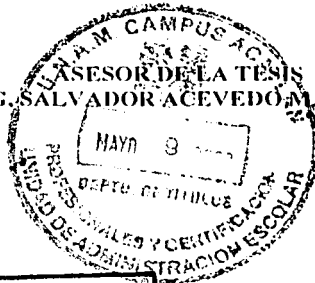
# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"

CRITERIOS DE DISEÑO DE UN RELLENO  
SANITARIO PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE  
RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
LICENCIADO EN INGENIERIA CIVIL  
P R E S E N T A  
MARIO GELACIO BENITEZ DIAZ

ING. SALVADOR ACEVEDO MARQUEZ



ABRIL, 2002.



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**Agradecimientos.....**

A Dios.....  
por todas las oportunidades que me ha  
brindado en la vida.

A mi Madre (Maty).....  
por darme la vida y el apoyo que  
siempre me ha dado.

A mi Padre (Gelacio).....  
por su presencia.

A mis Hermanos(Claudia, Alejandro y Mauricio).....  
por las sonrisas que me han regalado  
y por lo mucho que me han enseñado.

A mis Abuelos (Juan y Luz).....  
por enseñarnos a avanzar paso a paso  
y no a saltos.

A mis Tíos (Ma Eugenia, Daniel, Oscar, Yolanda,  
Sandra, Susana, Leticia, Chucho, Juan, Mario).....  
porque a pesar de saber todo de mi  
me quieren.

A mis Primos (Jorge, Beto, Águeda, Sara, Gaby,  
Maritza, Adriana, Alejandra, Carlos, Brenda).....  
por los inolvidables momentos vividos  
y por caminar a mi lado en los malos tiempos.

A mis Amigos (Cesar, Edwin, Arturo,  
Daniel, Jorge, Chucho).....  
por no dejar crecer la llevar  
en el camino de la amistad.

A mis Amigos de la Carrera(Luis A., Ziro, Federico,  
Luis, Jorge, Alberto, Enrique, Alejandro).....  
por las valiosas aportaciones de cada uno a lo largo  
de la carrera.

A Francisco Reyes.....  
por el apoyo y enseñanzas en la realización  
de esta tesis y en el ambito profesional.

A mis Compañeros de Trabajo.....  
por la camaradería que se respira.

A la Universidad.....  
por ayudarme a obtener armas  
para afrontar la vida diaria

A mis Profesores y mi Asesor.....  
por los invaluable conocimientos transmitidos

Al amor de mi vida.....  
por esperarme

A la vida.....  
por ayudarme a formar mi caracter

## **DIOS LLEVA AL CIENTÍFICO DE LA MANO**

Es cierto que el progreso actual de las ciencias y de la técnica, las cuales, debido a su método, no pueden penetrar hasta las íntimas esencias de las cosas puede favorecer cierto fenomenismo y agnosticismo cuando el método de investigación usado por estas disciplinas se considera sin razón como la regla suprema para hallar toda la verdad.

Es más, hoy el peligro de que el hombre confiado con exceso en los inventos actuales, crea que se basta a sí mismo y deje de buscar ya, cosas más altas.

La investigación metódica en todos los campos del saber, si está realizada de una forma auténticamente científica y conforme a las normas morales, nunca será en realidad contraria, porque las realidades profanan y las de la fé tienen su origen en un mismo Dios.

Más aún, quien con perseverancia y humildad se esfuerza por penetrar en los secretos de la realidad, está llevado, aún sin saberlo, por la mano de Dios, quien sosteniendo todas las cosas, da a todas ellas el ser.

La criatura sin el creador desaparece. Por lo demás, cuantos creen en Dios, sea cual fuere su religión, escucharán siempre la manifestación de la voz de Dios en el lenguaje de la creación. Más aún por el olvido de Dios la propia criatura quedo oscurecida.

# INDICE

	Pagina.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1. Planeación y selección del método de operación.....	3
1.1 Método de trinchera.....	4
1.2 Método de área.....	6
1.3 Métodos combinados.....	7
1.4 Método en zona pantanosa.....	8
CAPITULO 2. Selección del sitio para relleno sanitario.....	9
2.1 Aspectos técnicos para la selección del sitio.....	11
2.1.1 Vida útil del sitio.....	11
2.1.2 Material para la cobertura de los residuos.....	11
2.1.3 Topografía del sitio.....	12
2.1.4 Incidencia de vientos.....	13
2.1.5 Ubicación del sitio.....	13
2.1.6 Cercanías y vías de acceso.....	14
2.1.7 Visibilidad del sitio.....	15
2.1.8 Ubicación con respecto a cuerpos de agua superficiales y pozos de abastecimiento de agua potable.....	15
2.1.9 Ubicación dentro de la cuenca aportante.....	15
2.1.10 Características del suelo.....	16
2.1.11 Profundidad del manto freático.....	16
2.1.12 Uso futuro.....	16
2.2 Tenencia de la tierra.....	18
2.3 Factores de evaluación para la selección del sitio.....	18
2.3.1 Descripción de las tablas.....	19
CAPITULO 3. Estudios básicos para el conocimiento del medio físico.....	22
3.1 Estudios geológicos.....	22
3.1.1 Estratigrafía.....	24
3.2 Estudios hidrológicos.....	25
3.2.1 Escurrimientos.....	26
3.2.2 Relación lluvia-escurrimiento.....	26
3.3 Estudios geohidrológicos.....	27
3.3.1 Pozos a cielo abierto.....	28
3.3.2 Información existente.....	29
3.3.3 Ciclo hidrológico.....	30
3.4 Estudios de mecánica de suelos.....	31
3.4.1 Muestreo.....	31
3.4.2 Parámetros.....	33
3.4.3 Pruebas de permeabilidad.....	35
3.4.4 Granulometría.....	37
3.5 Estudios topográficos.....	39
3.5.1 Localización.....	42
CAPITULO 4. Desarrollo del diseño del relleno sanitario.....	45

4.1	Diseño de la celda diaria.....	45
4.1.1	Construcción.....	49
4.2	Diseño de franjas.....	54
4.3	Diseño de capas.....	54
4.4	Material de cubierta.....	57
4.5	Movimiento de tierras.....	62
4.5.1	Desmonte y despalle.....	62
4.5.2	Terracerías.....	65
4.5.3	Préstamos.....	67
4.5.4	Curva masa.....	69
<b>CAPITULO 5. Impermeabilización, control de líquidos y captación de biogas.....</b>		<b>74</b>
5.1	Impermeabilización.....	75
5.1.1	Método natural.....	75
5.1.2	Método artificial.....	75
5.1.3	Cálculo de la interfase o espesor mínimo para evitar riesgos de contaminación en las aguas subterráneas.....	76
5.2	Captación de aguas de escurrimiento.....	77
5.2.1	Drenaje superficial.....	78
5.2.2	Formulas de escurrimiento.....	79
5.2.3	Cálculo de la sección hidráulica.....	82
5.3	Captación de biogas.....	82
5.3.1	Método permeable.....	83
5.3.2	Método impermeable.....	88
5.4	Captación de lixiviado.....	90
5.4.1	Drenaje del líquido percolado (lixiviado).....	91
5.4.2	Pozos de monitoreo.....	96
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>102</b>
<b>GLOSARIO DE TERMINOS.....</b>		<b>105</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>		<b>111</b>

## **INTRODUCCION**

### **Relleno Sanitario**

Es un método de disposición de los residuos sólidos en la tierra de una manera segura e higiénica con los menores riesgos ambientales posibles, utilizando los principios de la Ingeniería para confinar los residuos sólidos en la menor área posible cubriéndolos con capas de tierra compactadas.

Desde los principios de la civilización, el hombre ha tenido que afrontar los problemas ocasionados por la generación de los residuos sólidos, generalmente asociada con la producción de un bien o la satisfacción de una necesidad biológica; estos problemas tienen que ver con todo el ciclo que sufren los residuos sólidos desde su generación hasta su disposición final.

El hombre a través de su historia ha depositado incontrolablemente sus residuos sólidos en el ambiente, siendo una practica común la utilización de terrenos abandonados o márgenes de caminos, ríos y carreteras, otros residuos han sido incinerados o enterrados y algunos otros han servido como fuente alimenticia de animales domésticos.

Como consecuencia del inadecuado manejo de los residuos sólidos, el hombre ha tenido que enfrentar serios problemas de contaminación del ambiente y de salud pública, dentro de los cuales destaca la contaminación del agua, suelo y aire así como el incremento de enfermedades transmitidas por vectores biológicos que se desarrollan en los lugares donde se almacenan o depositan sin ningún control.

En los últimos años debido al acelerado crecimiento de las ciudades, estos problemas de contaminación ambiental asociados con el mal manejo de los residuos sólidos, se han visto incrementados conforme ha crecido la población y las necesidades de sus habitantes, el hombre empezó a investigar diversos sistemas para el manejo y la disposición final incluyendo aspectos de la contaminación del agua, aire, suelo, así como de salud y económicos, sin embargo, en la mayoría de los países poco desarrollados, y el nuestro no es la excepción, se continúan disponiendo los residuos a través de los "basureros a cielo abierto", práctica que consiste en depositar residuos sólidos sobre un terreno sin ningún control, generalmente localizado en las afueras de las ciudades, aunque en algunas ocasiones se encuentra dentro de ella, lo cual ocasiona efectos adversos sobre el ambiente, tales como malos olores, debido a la producción de gases por la descomposición de materiales orgánicos que

contienen azufre, nitrógeno, etc. y que están en la basura, además el bióxido de carbono, en presencia de humedad, forma ácido carbónico.

Aunado a lo anterior se presenta la formación de lixiviados, por la filtración de agua (principalmente de lluvia, a través de la basura) estos lixiviados pueden contaminar cuerpo de agua superficiales y subterráneos. Adicionalmente, se pueden producir incendios cuando el volumen del gas metano, producto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica contenida en los residuos llega a alcanzar entre el 5 y 15% del volumen del aire encerrado. Por último, los basureros a cielo abierto afectan la estética y son el hábitat de vectores biológicos (moscos, mosquitos, ratas, etc...) transmisores de enfermedades infecciosas al hombre y a los animales.

Todos estos problemas se incrementan en lugares de grandes concentraciones humanas, de altas precipitaciones pluviales, así como en lugares con escasos sitios para disponer de los residuos sólidos.

En la actualidad, en el ámbito mundial, el tema referente a la disposición final de los residuos sólidos generados en las congregaciones urbanas, ha cobrado una gran importancia tanto para la población en general, como para los responsables de los servicios de aseo urbano; debido principalmente a los problemas de contaminación ambiental y de afectación de la salud pública que pueden generar, los cuales en ocasiones cuando no se ha hecho una correcta selección del sitio, pueden tener implicaciones ambientales sumamente graves.

Además de lo anterior, un sitio de disposición final mal ubicado y operado inadecuadamente, puede dar pie a que se presente un impacto visual a la estética del el paisaje, que se traduzca en problema de inquietud social que provoca una inadecuada percepción ciudadana y una pésima imagen, sobre lo que representa un relleno sanitario.

El relleno sanitario ha sido considerado como una obra de ingeniería necesaria para llevar acabo de manera controlada, la disposición final de residuos sólidos municipales; la cual pareciera estar siempre en construcción, aunque su verdadera peculiaridad, es la combinación de una operación permanente con eventuales procesos constructivos, los cuales se acentúan cuando se abren nuevos frentes de tiro, se concluyen etapas de trabajo, o se rehabilitan zonas clausuradas una vez estabilizadas.



## **CAPITULO 1**

### **PLANEACION Y SELECCION DEL METODO DE OPERACION**

El relleno sanitario aunque aparenta ser una pequeña obra, no deja de ser un proyecto de ingeniería, en el que gran parte de los problemas se previenen por medio de una buena planeación desde las etapas iniciales, puesto que de esta manera resulta más sencillo y económico que si se efectúan correcciones en el transcurso de las operaciones.

La planeación inicial definirá las bases para las diferentes actividades a cumplir, tales como: selección del sitio, diseño, construcción, operación y mantenimiento, teniendo en cuenta que se debe contar con la información necesaria sobre la población a servir, la procedencia, tipo y cantidad de desechos sólidos a disponer, los posibles sitios disponibles, el uso futuro del terreno una vez terminado el relleno, los recursos para su financiamiento y la asesoría de un profesional competente en el área.

Es importante contar con la asesoría de un ingeniero con experiencia en el campo del diseño, construcción y operación, sobre todo en las etapas iniciales del proyecto.

La planeación inicial deberá incluir un programa de información pública (atraves de escuelas, asociaciones, casa de cultura, clubes, municipios, etc.) que explique cuáles son los pro y los contra de la implantación del relleno.

El apoyo del público es una de las metas que debe procurar cualquier administración local que esta interesada en construir esta obra de saneamiento básico puesto que, sin este apoyo, es muy probable que la misma no pueda llevarse a la práctica.

Se debe tener presente que un relleno sanitario, como cualquier obra, requiere de recursos para su financiamiento, tanto para los estudios y diseño, como para su construcción, operación y mantenimiento.

Existen, a grandes rasgos, cinco diferentes perfiles de terreno que por sus características se presentan para su construcción y operación del relleno sanitario y por su topografía se clasifican en:

Plano.- Es aquel terreno en el que se presentan pequeñas pendientes como las mesetas y llanuras (0 a 5 % de pendiente).

Ondulado.- Se consideran terrenos ondulados aquellos en los que la pendiente no es continua presentando partes planas y partes con pendiente media como son los valles (5 a 10% de pendiente).

Escarpado.- Presentan una pendiente muy fuerte (mayores del 10%) como montañas, cerros, cañadas, etc.

Banco de material de préstamo abandonado.- Es aquel terreno que se usó como banco de material y presenta grandes huecos u hoyancos que pueden ir desde 5 a 15 metros de profundidad.

Combinado.- Es aquel que presenta 2 o más variantes de los terrenos arriba descritos.

El procedimiento de construcción y método de relleno sanitario se seleccionará una vez conocido el perfil (topografía) del terreno disponible, que podrá ser de trinchera, área y/o combinación de ambos y en un caso más particular en zona pantanosa (este caso es remoto, ya que es complicado y costoso).

### 1.1 Método de trinchera

En aquellos sitios donde exista la factibilidad técnica y económica de realizar excavaciones en el terreno natural, se podrán construir zanjas de sección trapezoidal, cuyas dimensiones dependerán básicamente de las características del terreno en cuestión. El material producto de la excavación se empleará para la cobertura de los residuos. Los taludes de las zanjas, deberán conformarse con una inclinación tal, que no haya problemas de deslizamientos que pongan en peligro la estabilidad de dichos taludes. La operación del método podrá efectuarse de dos maneras.

1. Depositando la basura en el frente de trabajo, desde el borde superior de la zanja, para después compactarla con el equipo mecánico sobre el talud inclinado de dicho frente de trabajo, efectuando movimientos de avance y retroceso entre la parte inferior y superior del mismo talud.

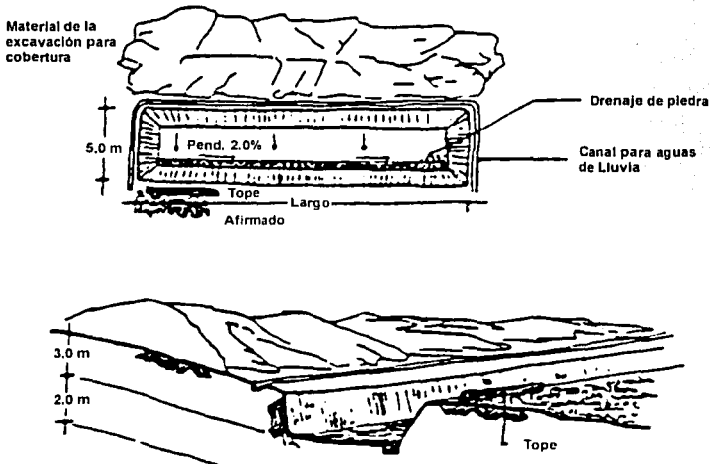
2. Se construye una rampa de acceso a la parte inferior de la zanja, que posibilite la entrada y salida de los vehículos de recolección a la misma, depositando los residuos sólidos al pie del talud inclinado del frente de trabajo, los cuales serán compactados con el equipo mecánico, empleando la misma técnica de operación mencionada en el párrafo anterior.

Este mismo método podrá desarrollarse en hondonadas naturales, minas o bancos de préstamo abandonados, solo que en este caso, el material de cubierta se obtendrá de la superficie del sitio, de las paredes del mismo, o bien de algún banco de préstamo lo más cercano posible.

Se debe tener cuidado en época de lluvias para que el agua no inunde las zanjas. Por lo tanto, se deben construir canales perimetrales para captarlas y desviarlas e incluso instalarles drenajes internos. En casos extremos, puede requerirse el bombeo del agua acumulada. Las paredes longitudinales de las zanjas tendrán que ser construidas de acuerdo con el ángulo de reposo del suelo excavado.

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 movimientos de tierras. Figura 1.1.

Figura 1.1



Método de trinchera para construir un relleno sanitario

## 1.2 Método de área

El método es similar al de trinchera, consiste en depositar los residuos sobre el talud inclinado, se compactan en capas inclinadas de 60 cm. para formar la celda que después se cubre con tierra. Las celdas se construyen inicialmente en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo.

Este método se puede usar en cualquier terreno disponible, canteras abandonadas, en 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.

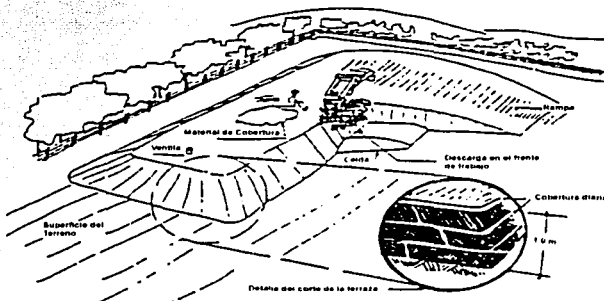
La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba.

El relleno se construye apoyando las celdas en la pendiente natural del terreno, es decir, la basura se vacía en la base del talud, se extiende y apisona contra él, y se recubre diariamente con una capa de tierra de 0.10 a 0.20 m. de espesor; se continúa la operación avanzando sobre el terreno, conservando una pendiente suave de unos 30 grados en el talud y de 1 a 2 grados en la superficie.

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

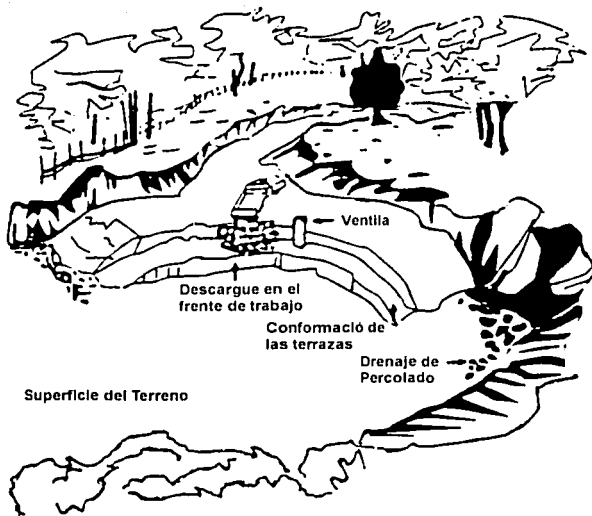
Cuando haya existencia de ciertas ondulaciones y depresiones en el terreno, deberán ser utilizadas para sobre ellas realizar la compactación de tales residuos, cuando se estén conformando las primeras celdas de una determinada capa constructiva. Figura 1.2 y 1.3.

Figura 1.2



Método de área para construir un relleno sanitario

Figura 1.3



*Método de área para rellenar depresiones*

### 1.3 Métodos combinados

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.

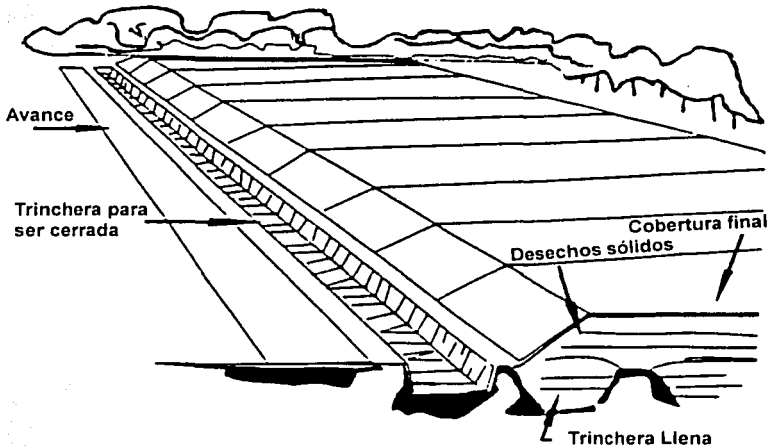
Los métodos combinados son considerados los más eficientes ya que permiten ahorrar el transporte del material de cubierta (siempre y cuando exista éste en el sitio) y aumentan la vida útil del sitio. Figura 1.4.

#### 1.4 Método en zonas pantanosas

Esta zona tiene como característica principal la nula capacidad de soporte del terreno, por lo que se hace necesario, conformar una buena superficie de sustentación que permita resistir el peso de los equipos mecánicos y de los vehículos recolectores, la cual puede lograrse con materiales de demolición, restos de pavimentos o troncos de madera alineados a manera de "balsa". Con la superficie de sustentación perfectamente definida, se depositarán los residuos sobre esta base para luego toparlos hacia abajo, con el fin de formar un declive que permita compactarlos, hasta alcanzar el nivel deseado en el relleno sanitario.

Para construir un relleno sanitario en zonas muy húmedas se debe demostrar que no existe ninguna otra alternativa practicable con un menor riesgo ambiental, se han adoptado todos los pasos apropiados y practicable para minimizar los impactos adversos potenciales.

Figura 1.4



*Combinación de ambos métodos para construir un relleno sanitario*

## **CAPITULO 2**

### **SELECCION DEL SITIO PARA RELLENOS SANITARIOS**

Las condiciones ideales que debe reunir el sitio para utilizarlo como un relleno sanitarios son las siguientes:

- ξ Ser de fácil y rápido acceso para los camiones recolectores.
- ξ Permitir su utilización por largo plazo, de preferencia superior a diez años.
- ξ Contar con una topografía adecuada que permita un mayor volumen aprovechable por hectárea.
- ξ Tener condiciones y características tales, que se protejan los recursos naturales.
- ξ Estar localizado de modo que el relleno sanitario no sea rechazado por la población, debido a molestias por la operación del mismo.
- ξ Ofrecer material para cobertura, en cantidad y con las características adecuadas, dentro de las cercanías del sitio.
- ξ Tener en regla todo lo relacionado con el uso y tenencia de la tierra.

Rara vez se encuentran en un terreno todas estas condiciones, el ingeniero debe clasificar los terrenos que reúnan buenas características, analizando sus inconvenientes en función de los recursos técnicos y económicos disponibles para utilizarlos, estableciendo un orden de preferencias para cada sitio.

Es conveniente realizar una preselección considerando tres o más sitios viables para que los ingenieros responsables del proyecto hagan la evaluación y selección final de uno de ellos; el tiradero existente deberá estudiarse como un sitio alternativo que puede transformarse en relleno sanitario.

La selección del sitio es un conjunto de pasos que deberán contemplar varios aspectos.

En términos generales, los problemas que un sitio de disposición final de residuos sólidos puede generar sobre los elementos del entorno que son más susceptibles de verse afectados por dicha infraestructura, se describen a continuación.

- ξ Aguas superficiales y subterráneas.- La principal afectación que un depósito de residuos sólidos puede generar en las aguas superficiales y subterráneas, son por lixiviados producto del paso del agua de lluvia a través de los paquetes de basura, cuya carga orgánica medida como DBO, puede alcanzar valores de hasta 40,000 ppm. Estos lixiviados no solo poseen una elevada carga de DBO, sino que además pueden tener un alto contenido de metales pesados, bacterias coliformes y, en ocasiones, hasta sustancias carcinogénicas.

Estos lixiviados pueden llegar a contaminar los cuerpos superficiales de aguas por escurrimientos no controlados, o bien infiltrarse a través de formaciones permeables y contaminar los mantos acuíferos, con las consecuencias secundarias que esta contaminación provoca, como es la inutilización de estos recursos para su aprovechamiento futuro. En especial, cabe señalar que la contaminación de acuíferos elimina su aprovechamiento para diferentes usos, durante un plazo muy largo, puesto que cuando se detecta, la regeneración de estos sistemas es muy tardada pudiendo quedar afectados de por vida.

- ξ Aire.- Las afectaciones que un sitio de disposición final de basura pueden provocar hacia la atmósfera, dependen en gran medida de la buena o mala operación del relleno sanitario. Normalmente los principales contaminantes que puede generar, son: polvos, gases con olores desagradables y en ocasiones humos. Estos contaminantes, pueden afectar a la población asentada en las inmediaciones del sitio.

Se debe básicamente al manejo del material de cobertura de los residuos sólidos. Los olores se producen debido a los procesos de putrefacción y otros llevados a cabo por microbios anaerobios en la degradación de la materia orgánica presente en los residuos sólidos.

- ξ Suelo.- La ubicación de un depósito de basura, implica la ocupación de un determinado lugar con una serie de características en cuanto a calidad de suelo, vegetación y fauna, que en ocasiones son difíciles de proteger. Hay que considerar las características de los ecosistemas colindantes con el sitio, con el fin de evitar cualquier alteración por la obra del relleno sanitario.

La contaminación de los suelos y la disminución de su productividad (para otros fines), debido al contacto que pueden tener con lixiviados que se generan en cualquier sitio de disposición final de basura, son alteraciones que dañan a la agricultura, o bien llegan a inutilizar terrenos colindantes altamente cotizados para un determinado uso.

- ξ Bienestar.- Para medir la afectación al bienestar, concepto tan subjetivo y tan difícil de valorar, en ocasiones es conveniente tomar como referencia al



paisaje, ya que es indudable que no es otra cosa que la suma de una serie de componentes que crean una cierta imagen de percepción en el ser humano. Estos componentes incluyen, a la vegetación predominante, litología y también a la geomorfología. La ubicación de un relleno sanitario, supone una cierta alteración del paisaje; tanto en el propio sitio como en su zona de influencia, puesto que el arrastre de sólidos fuera del sitio afectan al paisaje en una superficie territorial, en ocasiones muy extensa. En zonas donde este paisaje tiene un valor elevado, la afectación en el valor del paisaje puede suponer una pérdida económica importante, aunque difícilmente cuantificable y por ende, una afectación al bienestar de la población circundante.

- ξ Salud Pública.- La afectación de la salud pública, normalmente se asocia a los problemas generados por microbios patógenos y por vectores como ratas y perros, que pueden desarrollarse y/o alimentarse en los sitios de disposición final de residuos sólidos. El problema es en muchos casos importante, viéndose agravado cuando existen pepenadores (gente que vive de recolectar basura). Sin embargo, éste problema no es tanto de localización sino de operación del sitio de disposición final, por lo que ésta variable no es de consideración para la elección del sitio, aunque cuando existen núcleos urbanos cercanos, pueden generarse problemas no sólo de salud, sino de afectación al bienestar.

## **2.1 Aspectos técnicos para la selección del sitio**

A continuación se enumeran algunos de los aspectos técnicos más importantes para la selección del sitio.

### **2.1.1 Vida útil del sitio**

El sitio deberá tener una extensión tal que, estimada una rasante de proyecto terminado, se tenga un volumen que pueda recibir desechos sólidos, para cuando menos 10 años de operación del relleno sanitario.

Para el cálculo de este volumen se deberá tomar, en cuenta la proyección futura de la población, el índice de generación, los costos de adecuación y las obras de infraestructura.

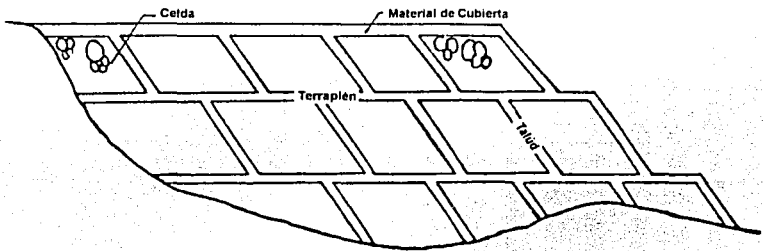
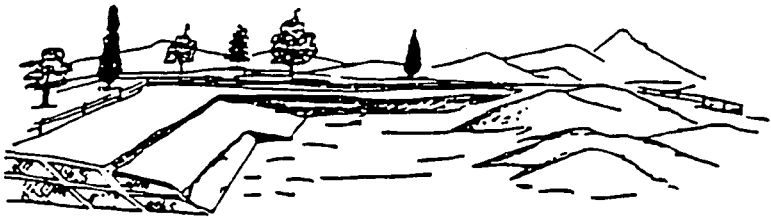
### **2.1.2 Material para la cobertura de los residuos**

Se buscará en la medida de lo posible, que el sitio cuente con suficiente material de ciertas características que más adelante se comentan para la cobertura el

tiempo que estará en operación el relleno sanitario. Además de ser autosuficiente en tierra necesaria para su construcción.

Si el sitio no contara con tierra suficiente o no se pudiera excavar, deberán investigarse bancos de materiales para cobertura en lugares próximos y accesibles tomando en cuenta el costo del transporte, de no ser así, es preferible desechar el lugar antes del inicio de cualquier trabajo, puesto que se corre el riesgo de convertirlo en un botadero a cielo abierto. Figura 2.1.

Figura 2.1



*Disponibilidad de material de cobertura*

### 2.1.3 Topografía del sitio

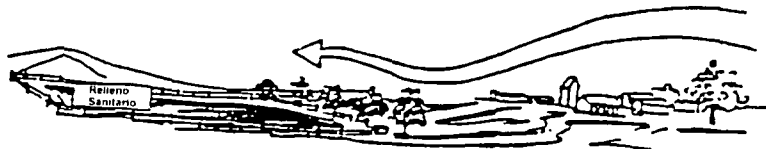
El relleno puede diseñarse y operarse en cualquier tipo de topografía. Sin embargo, es preferible aquella en que se logre una mayor cantidad de terreno aprovechable por hectárea, como puede ser el caso de minas abandonadas a

cielo abierto, inicio de cañadas, manglares contaminados (cabe mencionar que se deben tomar varias medidas para realizar un relleno en un sitio como este) y otros.

#### 2.1.4 Incidencia de vientos

La ubicación del sitio deberá seleccionarse de tal manera que los vientos dominantes soplen en sentido contrario a la mancha urbana con el fin de evitar posibles malos olores; por tanto, la ubicación del relleno sanitario, en lo posible, deberá estar de tal manera que el viento circule desde el área urbana hacia él. Figura 2.2. En caso contrario, deberán preverse algunas medidas para contrarrestar este aspecto, como la siembra de árboles y vegetación espesa en toda la periferia del relleno. Aunque si el relleno sanitario opera correctamente, el factor "viento dominante", puede despreciarse.

Figura 2.2



*Dirección del viento*

#### 2.1.5 Ubicación del sitio

Un relleno sanitario bien operado no causa molestias; sin embargo, es preferible ubicar el sitio fuera de la mancha urbana, previendo que al final de la vida útil del relleno, este pueda usarse como área verde.

Se recomienda que el sitio para el relleno sanitario este cercano a la mancha urbana (3 kilómetros mínimo y 12 kilómetros máximo) ya que permite disminuir los costos de transporte, permite tener una mayor vigilancia y supervisión permanente así como se asegura que los problemas operativos (ruido, tránsito, etc.) no afectaran a la misma. Figura 2.3.

Figura 2.3

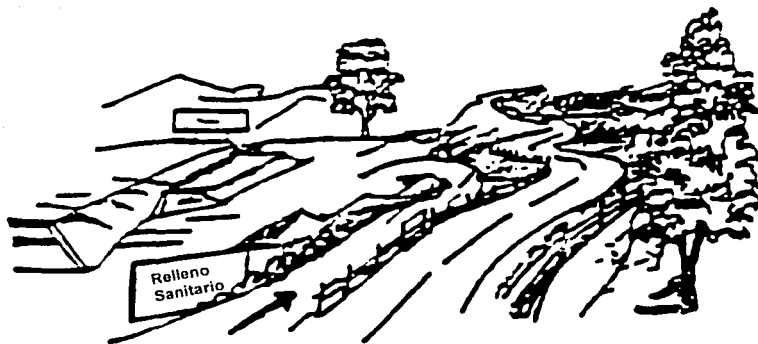


*Ubicación del relleno sanitario cerca del área urbana*

#### 2.1.6 Cercanías y vías de acceso

Tanto la distancia como las condiciones del acceso al sitio elegido para alojar un relleno sanitario, inciden directamente sobre los costos de operación de cualquier sistema de manejo y disposición final de residuos sólidos; amén de disminuir la cobertura del servicio y dañar elementos mecánicos de los vehículos recolectores. Por tal razón, siempre se buscará que el sitio en cuestión se halle no muy alejado de la mancha urbana (en casos extremos lo más cercano que puede estar el relleno a una zona residencial es a 200 m), y bien comunicado con ella, con algún camino que sea transitable en todo tiempo. Figura 2.4.

Figura 2.4



Vías de Acceso

### 2.1.7 Visibilidad del sitio

Aunque no es un factor de mucho peso, no puede pasar inadvertidamente el hecho de que por los problemas de queja pública que pueden surgir entre la ciudadanía; es mejor contar con un sitio oculto a la vista, que con uno que se halle a la vista de todos.

### 2.1.8 Ubicación con respecto a cuerpos de aguas superficiales y pozos de abastecimiento de agua potable

Para evitar que por medio de escurrimientos superficiales o por infiltración, se llegue a contaminar cualquier cuerpo de agua superficial o subterráneo, se cuidará que el sitio elegido para la implantación del relleno sanitario, se halle alejado de tales cuerpos de agua.

### 2.1.9 Ubicación dentro de la cuenca aportante

Con la finalidad de minimizar hasta donde sea posible, los problemas de operación en el relleno sanitario causado por una mala captación de los

escurrimientos superficiales pluviales que concurren hacia la zona donde se pretenda llevar a cabo tal obra de ingeniería; es importantísimo elegir un sitio que presente topográficamente hablando, un buen sistema de drenaje natural; independientemente de la red de drenaje pluvial con que se deberá equipar al relleno sanitario.

#### **2.1.10 Características del suelo**

Los líquidos contaminantes que pueden producirse en cualquier sitio de disposición final de residuos sólidos, podrán también filtrarse por todo el estrato de basura, una vez que haya sido satisfecha la capacidad de campo de esta última, infiltrándose en el suelo hasta penetrar en el manto acuífero, contaminando a ambos elementos (suelo y manto). Considerando lo anterior, se debe prever que el suelo del sitio reúna en lo posible, características tanto de impermeabilidad como de remoción de contaminantes, características que para efecto de análisis, estarán representadas respectivamente, por el coeficiente de permeabilidad (K) y por la capacidad de intercambio catiónico del suelo que se trate (CIC).

Los suelos sedimentarios con características areno-arcillosa son los más recomendables, ya que son suelos poco permeables.

#### **2.1.11 Profundidad del manto freático**

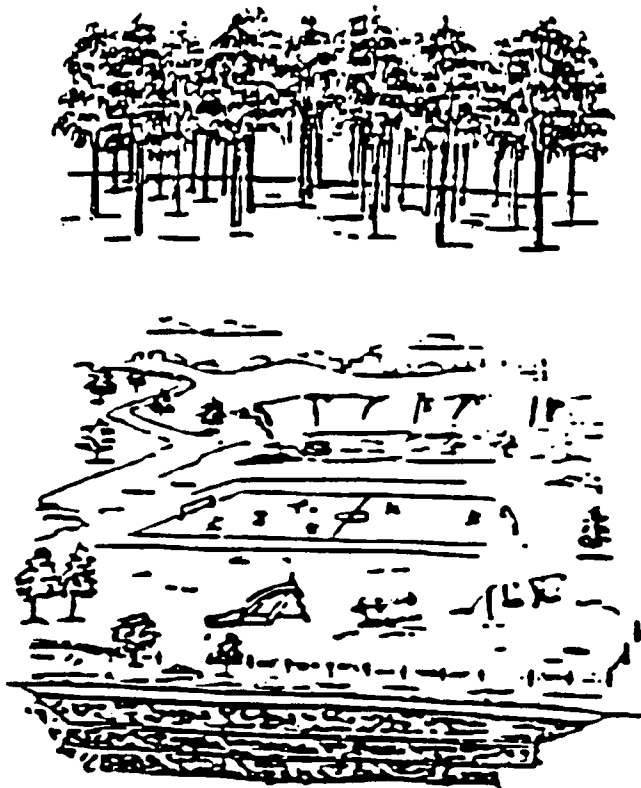
Un factor importantísimo que no se debe dejar a un lado en toda selección de sitios para el establecimiento de relleno sanitario, es el hecho de evitar por todos los medios, la afectación de la calidad de las aguas del acuífero de la zona donde se ubica el sitio en cuestión: por esta razón, es deseable que el nivel freático se ubique lo más profundo posible en comparación con el nivel del terreno natural de dicho sitio.

#### **2.1.12 Uso futuro**

En todo proyecto de construcción de un relleno sanitario se debe tener en mente la probabilidad de su utilización futura, a fin de integrarlo perfectamente al ambiente natural. Una vez terminada su vida útil, el relleno sanitario puede ser transformado en un parque, área deportiva, jardín, vivero o en un pequeño bosque. Figura 2.5.

Figura 2.5

¡ La selección del sitio es tanto o más importante  
para las poblaciones pequeñas !



*Uso futuro del suelo*

## 2.2 Tenencia de la tierra

Bajo cualquier circunstancia todo proyecto de relleno sanitario deberá iniciarse solamente cuando la entidad responsable del relleno (municipio), tenga en sus manos el documento legal que le autorice a construir sobre el terreno el relleno sanitario con todas las obras complementarias, estipulando también el periodo y la utilización futura u opciones.

Es común que el municipio obtenga, de particulares, el arrendamiento del terreno para el relleno sanitario. En caso de que esto suceda será necesario siempre contar con un convenio o contrato firmado y debidamente legalizado por ambas partes.

Cuando el terreno sea propiedad del municipio, este deberá quedar debidamente registrado en el catastro de la propiedad, señalando que será de uso restringido. Figura 2.6.

Figura 2.6



*Presentación del proyecto ante las autoridades locales*

## 2.3 Factores de evaluación para la selección del sitio

Las tablas 2.1 y 2.2 se incluyen con el fin de presentar un criterio práctico y sencillo para evaluar, a los diferentes sitios viables que se presentan en la selección del sitio para un relleno sanitario.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



### 2.3.1 Descripción de las tablas

En la tabla 2.1 se presentan los conceptos que se deben considerar para evaluar la selección del sitio.

En la tabla 2.2 se considera un criterio valorativo a cada uno de los conceptos que incluyen en la selección. Este valor se ha determinado de acuerdo a la importancia que tiene cada uno de ellos y se les ha asignado una cantidad en la columna de valores. En las columnas de opciones aparecen los siguientes conceptos:

Excelente.	1.00
Buena.	0.85
Regular.	0.70

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

TABLA 2.1

CONCEPTOS PARA LA SELECCIÓN DEL SITIO.

CONCEPTOS QUE INFLUYEN EN LA SELECCIÓN DEL SITIO	CRITERIO VALORATIVO		
	EXCELENTE	BUENA	REGULAR
Vida útil	Mayor de 10 años	5 a 10 años	Menos de 5 años
Tierra para cobertura	Autosuficiente	Acarreo cercano	Acarreo lejano
Topografía	Minas a cielo abierto abandonadas	Comienzo de cañadas, manglares contaminados	Otros
Vías de acceso	Cercanas y pavimentadas	Cercanas transitables	Lejanas y transitables
Vientos dominantes	En sentido contrario de la mancha urbana	En ambos sentidos de la mancha urbana	En sentido de la mancha urbana
Ubicación del sitio	De 3 a 12 km. De la mancha urbana	Entre 1 y 3 km. De la mancha urbana	Menor de 1 km. Y mayor de 12 km. de la mancha urbana
Geología	Impermeables	Semi-impermeables	Permeables
Geohidrología	Mas de 30 m. De profundidad (manto acuifero)	Entre 10 y 30 m. De profundidad	Menor de 10 m. de profundidad
Hidrología	No hay corrientes superficiales	Lejano de corrientes superficiales	cerca de corrientes superficiales
Tenencia de la tierra	Terreno propio	Terreno rentado a largo plazo	Terreno rentado a corto plazo

CRITERIO TOMADO DE LA DIRECCION GENERAL DE CONTAMINACION AMBIENTAL DE LA SEDUE.

Fuente.- Manual de Rellenos Sanitarios (SEDUE)

TABLA 2.2

TABLA DE VALORES PARA LA SELECCIÓN DE UN SITIO.

CONCEPTOS QUE INFLUYEN EN LA SELECCIÓN DEL SITIO	VALORES	CRITERIO VALORATIVO		
		EXCELENTE 1.00	BUENA 0.85	REGULAR 0.70
Vida util	1.000	1.000	0.850	0.700
Tierra para cobertura	0.700	0.700	0.595	0.490
Topografía	0.200	0.200	0.170	0.140
Vías de acceso	0.250	0.250	0.212	0.175
Vientos dominantes	0.050	0.050	0.042	0.035
Ubicación del sitio	0.400	0.400	0.340	0.280
Geología	0.400	0.400	0.340	0.280
Geohidrología	0.400	0.400	0.340	0.280
Hidrología Superficial	0.300	0.300	0.255	0.210
Tenencia de la Tierra	0.700	0.700	0.595	0.490
Total.....	4.400	4.400	3.739	3.080

CRITERIO TOMADO DE LA DIRECCION GENERAL DE CONTAMINACION AMBIENTAL DE LA SEDUE.

Fuente.- Manual de Rellenos Sanitarios (SEDUE)

## **CAPITULO 3**

### **ESTUDIOS BASICOS PARA EL CONOCIMIENTO DEL MEDIO FISICO**

En la descripción del escenario ambiental, es necesario definir el área de influencia del proyecto, la cual puede ser diferente desde el punto de vista físico, biológico o económico. En la descripción de los factores físicos o biológicos es importante hacer énfasis en aquellos aspectos que tienen una relación directa con las actividades a desarrollar en el tratamiento y/o disposición final de los residuos sólidos.

- ξ Climatología (temperaturas, dirección y velocidad del viento, humedad, precipitación, etc.)
- ξ Geología y geomorfología (topografía, sismicidad, etc.)
- ξ Suelo (tipo de suelo, capacidad de intercambio catiónico, permeabilidad).
- ξ Hidrología (cuerpos de agua, profundidad del acuífero, dirección flujo del agua subterráneo, drenaje superficial, etc.)

#### **3.1 Estudios Geológicos**

Un contaminante puede penetrar al suelo y llegar al acuífero, contaminándolo y utilizándolo para avanzar a través de él, por lo tanto es muy importante conocer el tipo de suelo (estratigrafía) del sitio para el relleno sanitario.

Los suelos sedimentarios con características areno-arcillosas son los más recomendables, ya que son suelos poco permeables, por lo cual la infiltración de líquido contaminante se reduce sustancialmente.

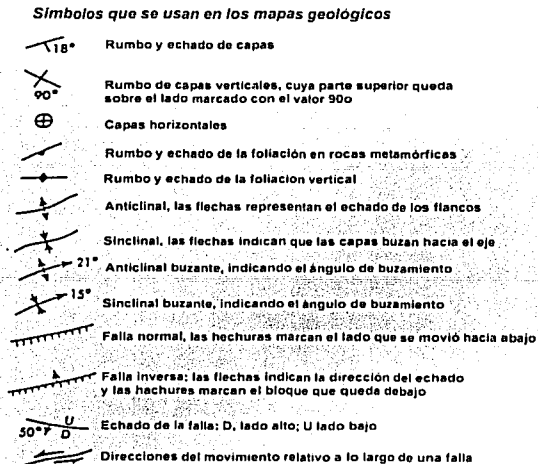
Por otra parte, este tipo de suelo es suficientemente manejable como para realizar excavaciones, cortes y para usarse como material de cubierta.

El estudio geológico de un área empieza con trabajo de campo para determinar los tipos de roca que en ella existen, la forma y tamaño de las masas de cada clase y las relaciones de estas masas entre sí. Generalmente un estudio completo también requiere estudios de laboratorio y análisis de ciertas muestras clave, recolectadas en el campo. Para que el geólogo de campo haga una interpretación precisa que sirva como registro permanente de sus resultados, se requiere en primer término un mapa que muestre las características esenciales con el mayor detalle posible. Muchas publicaciones de organizaciones geológicas contienen buenos mapas geológicos, y el objetivo, de ser posible, es llegar a contar con mapas de esta clase que abarque toda la superficie terrestre.

Para hacer un estudio de campo exacto y preparar el mapa correspondiente es esencial disponer de un mapa base del área que se va a estudiar, de preferencia uno con curvas de nivel que muestre las altitudes del terreno.

Los mapas disponibles de diferentes regiones varían ampliamente en escala, en el espaciamiento de las curvas de nivel y en la representación detallada de los accidentes superficiales, tales como los cursos de los ríos, las cimas de los cerros, caminos y edificios. El geólogo se vale de esos detalles para hacer mapas precisos de ciertas características geológicas de interés, tales como los contactos de masas de roca adyacentes. Pero aunque su mapa base sea bastante preciso, debe disponer de algunos instrumentos auxiliares para situar sus datos sobre el mapa. Figura 3.1.

Figura 3.1

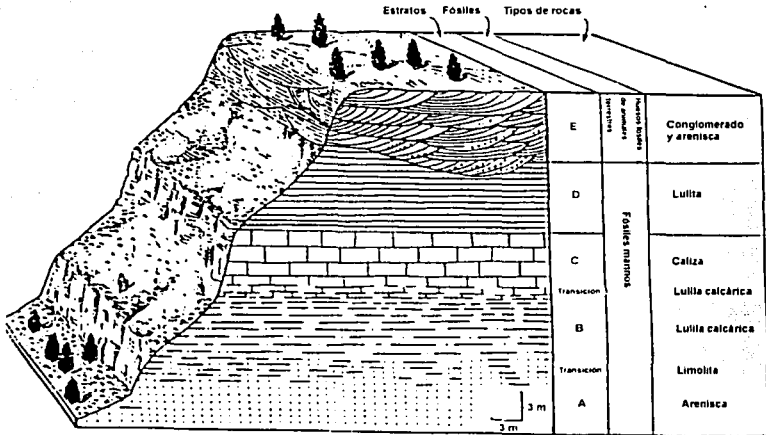


### 3.1.1 Estratigrafía

La Estratigrafía es el estudio de las rocas estratificadas. Su propósito es desentrañar el origen de los sedimentos, los agentes que los transportaron, el medio en que tuvo lugar el depósito y las relaciones de unos a otros, tanto horizontales como verticalmente. Nuestra mejor introducción a la estratigrafía la constituye un ejemplo de cómo se realiza este estudio en el campo.

La figura 3.2 muestra una secuencia de estratos expuestos en una ladera empinada. Las rocas se examinan sistemáticamente trepando sobre la pendiente, y tomando notas a medida que se sube. Se identifican los tipos de roca y se determina el espesor de cada una de las capas o estratos, de los cuales existen en este caso cinco (señalados con las letras de la A a la E en la figura). Las superficies de contacto entre cada dos unidades no son iguales. Los contactos entre D y E y entre C y D son abruptos y precisos, en tanto que aquellos entre A y B entre B y C son transicionales, esto es, representan el paso gradual de la capa superior y la inferior. Buscando fósiles que ayuden a determinar el origen de las rocas, se encuentran fósiles marinos en las unidades A, B, C y D y huesos fósiles de animales terrestres en la unidad E.

Figura 3.2



Secuencia ideal de estratos expuestos en una pendiente abrupta

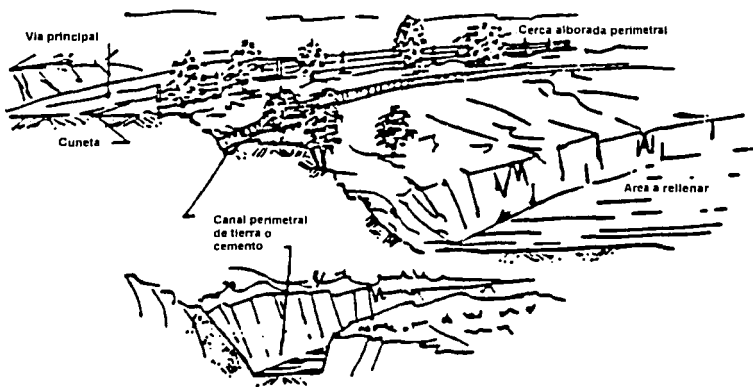
### 3.2 Estudios Hidrológicos

Una parte de los problemas de operación causados por la disposición de desechos sólidos son consecuencia de una deficiente captación de agua de escurrimiento; partiendo de esa base es muy importante que el sitio seleccionado esté lo más lejos posible de corrientes superficiales y cuerpos receptores de agua, y cuente con una adecuada red de drenaje pluvial para evitar escurrimientos dentro del relleno sanitario.

Es importante estudiar la precipitación pluvial del lugar para prever las características de los drenajes y las obras que se vayan a necesitar a fin de atenuar la producción de lixiviado. Así, se evitará también la contaminación de las aguas, y se logrará definir las áreas de operación e instalaciones para los trabajadores.

Las aguas de lluvias que caen sobre las áreas vecinas al relleno sanitario muchas veces escurren hasta éste, causando serias dificultades de operación. Interceptar y desviar el escurrimiento del agua de lluvias fuera del relleno sanitario, contribuye significativamente a reducir el volumen del líquido percolado y también a mejorar las condiciones de la operación. Por lo tanto, es necesario construir un canal de tierra o de cemento de forma trapezoidal, y dimensionarlo de acuerdo con las condiciones de precipitación local, área tributaria, características del suelo, vegetación y topografía. Figura 3.3.

Figura 3.3



*Drenaje perimetral para agua de lluvias*

### **3.2.1 Esgurrimientos**

El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre, una vez que una parte ha sido interceptada (por la vegetación) y evaporada, sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca. Conviene dividir estos caminos en tres clases; escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo.

Una vez que la precipitación alcanza la superficie del suelo, se infiltra hasta que las capas superiores del mismo se saturan. Posteriormente, se comienzan a llenar las depresiones del terreno y, al mismo tiempo, el agua comienza a escurrir sobre su superficie. Este escurrimiento, que fluye en la superficie del terreno, se produce mientras el agua no llegue a cauces bien definidos. En su trayectoria hacia la corriente más próxima, el agua que fluye sobre el terreno se sigue infiltrando, e incluso se evapora en pequeñas cantidades. Una vez que llega a un cauce bien definido se convierte en una corriente.

El flujo sobre el terreno, junto con el escurrimiento en corrientes, forma el escurrimiento superficial. Una parte del agua de precipitación que se infiltra escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelamente a él. A esta parte del escurrimiento se le llama escurrimiento subsuperficial; la otra parte, que se infiltra hasta niveles inferiores, se denomina escurrimiento subterráneo.

### **3.2.2 Relación Lluvia-Esgurrimiento**

Es sumamente común que no se cuente con registros adecuados de escurrimiento en el sitio de interés para determinar las medidas necesarias para el diseño y operación de obras hidráulicas. En general, los registros de precipitación son más abundantes que los de escurrimiento y, además, no se afectan por cambios en la cuenca, como construcción de obras de almacenamiento y derivación, talas, urbanización, etc. Por ello, es conveniente contar con métodos que permitan determinar el escurrimiento en una cuenca mediante las características (topográficas, etc...) de la misma y la precipitación. Las características de la cuenca se conocen por medio de los planos topográficos y de uso de suelo, y la precipitación a través de mediciones directas (al momento en que sucede) en el caso de predicción de avenidas frecuentes, o bien usando los métodos de avenidas de diseño.

Los principales parámetros que intervienen en el proceso de conversión de lluvia a escurrimiento, son los siguientes:



1. Area de la cuenca.
2. Características generales de la precipitación (altura, distribución de la lluvia en el tiempo, etc..)
3. Características generales de la cuenca (forma, pendiente, vegetación, etc.).

Debido a que la cantidad de la información disponible varía grandemente de un problema a otro y a que no siempre se requiere la misma precisión en los resultados, se han desarrollado una gran cantidad de métodos para analizar la relación lluvia-escurrimiento (p.ej. el método de envolventes).

Desde luego la complejidad de los métodos aumenta a medida que se toman en cuenta más de los parámetros citados anteriormente. En este sentido también aumenta su grado de exactitud, pero los datos que se requieren son más y de mayor precisión.

### **3.3 Estudios Geohidrológicos**

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

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

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

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

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

### 3.3.1 Pozos a cielo abierto y sondeos

Cuando este método se lleve a cabo debe considerársele como el más satisfactorio para conocer las condiciones del subsuelo, ya que consiste en excavar un pozo de dimensiones suficientes (2x2 por 5 m de profundidad) para que un ingeniero pueda directamente bajar y examinar los diferentes estratos de suelo en su estado natural, así como darse cuenta de las condiciones precisas referentes al agua contenida en el suelo. Desgraciadamente este tipo de excavación, no puede llevarse a grandes profundidades a causa, sobre todo, de la dificultad de controlar el flujo de agua del nivel freático; naturalmente que el tipo de suelo de los diferentes estratos atravesados también influye grandemente en los resultados del método en sí. La excavación se encarece mucho cuando sean necesarios ademes y haya excesivos traspaleos a causa de la profundidad.

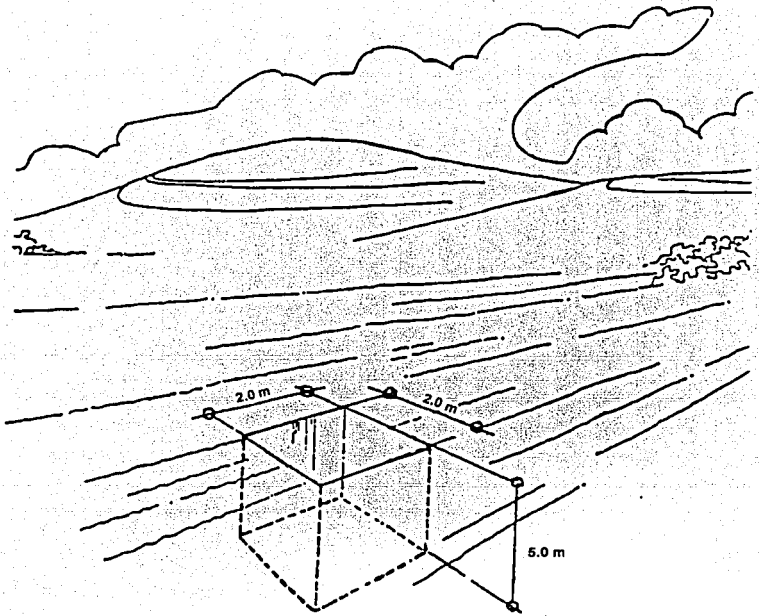
Deben tenerse cuidado especial para distinguir la naturaleza del suelo "in situ" y la misma, modificada por la excavación realizada.

En estos pozos se pueden tomar muestras alteradas que son simplemente porciones de suelo que se protegerán contra pérdidas de humedad introduciéndolas en frascos o bolsas emparafinadas, o muestras inalteradas que deberán tomarse con precauciones, generalmente labrando la muestra en un hueco que se hará en la pared del pozo, la muestra debe protegerse contra pérdidas de humedad envolviéndola en una o más capas de manta debidamente impermeabilizada con brea y parafina.

Se deberán realizar sondeos hasta una profundidad de 20 m. ó menos, si se encuentra un material impermeable; o bien con pozos a cielo abierto y mayores de 6 m. de profundidad cuando las condiciones lo permitan. El mínimo será cuando se encuentre un estrato impermeable; de estos sondeos y pozos se podrá conocer la estratigrafía del suelo y se tendrá una idea bastante aproximada de las condiciones del sitio como son profundidad del acuífero, permeabilidad y tipo de material.

La localización de los sondeos, se deberán presentar en un plano general del sitio, indicando las características generales de cada uno de ellos, como son: profundidad, equipo empleado, tipo de terreno, etc.. Dicho plano deberá incluir sus dimensiones correspondientes, así como un croquis de localización del sitio; en el mismo plano se deberán incluir los perfiles estratigráficos resultado del estudio en cuestión, así como su trazo en la planta general del sitio, el tipo de clasificación y características generales de ellos, obtenidos en laboratorios. Figura 3.4.

Figura 3.4



*Pozos para muestreos geofísicos*

### 3.3.2 Información Existente

En este punto se deberá investigar en las cercanías, las norias o pozos profundos, o con las autoridades hidráulicas del lugar, el nivel de aguas freáticas, de tal manera que se tenga una información lo más aproximada al sitio en cuestión; pero si existe alguna duda importante como podría ser el mismo nivel de aguas freáticas, será necesario llevar a cabo un estudio geohidrológico y en un caso extremo seleccionar otro sitio para el relleno sanitario.

Generalmente esta información la tiene la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, ya que esta dependencia ha realizado este tipo de estudios por casi toda la República Mexicana.

### 3.3.3 Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico, se considera el concepto fundamental de la hidrología. De las muchas representaciones que se pueden hacer de él, la más ilustrativa es quizás la descriptiva.

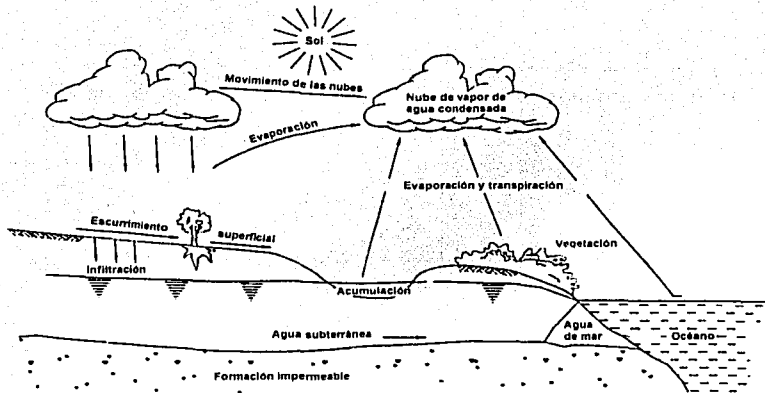
Como todo ciclo, el hidrológico es una cadena de eventos que se repiten en el tiempo, y su descripción puede comenzar en cualquier punto. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor de agua, que así se forma, se eleva y se transporta por la atmósfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación. Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra. El agua interceptada y una parte de la infiltrada y de la que corre por la superficie se evapora nuevamente. De la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega hasta los océanos y otros grandes cuerpos de agua, como presas y lagos. Del agua infiltrada, una parte es absorbida por las plantas y posteriormente es transpirada, casi en su totalidad, hacia la atmósfera y otra parte fluye bajo la superficie de la tierra hacia las corrientes, el mar u otros cuerpos de agua, o bien hacia zonas profundas del suelo (percolación) para ser almacenada como agua subterránea y después aflorar en manantiales, ríos o el mar. Figura 3.5.

Sin duda los procesos que componen el ciclo hidrológico, juegan un papel muy importante en el diseño y operación de un relleno sanitario; a continuación se describen estos procesos y su influencia en el diseño y operación de un relleno sanitario.

La precipitación pluvial tiene influencia en el diseño del relleno sanitario, ya que el conocimiento de ésta, en el sitio seleccionado, será importante para el diseño de los drenajes, el cálculo de volumen de lixiviados que se podría generar, el cálculo de agua de escurrimiento superficial. En lo que respecta a la operación del relleno en tiempo de lluvias, puede ocasionar que el material de cubierta sea más difícil de esparcir y de compactar. Otro problema, es la dificultad en un momento dado que pueda ocasionar el tránsito de vehículos en los caminos de terracería dentro del sitio.

El proceso de la evapotranspiración interviene también en el cálculo de lixiviado y en los cálculos de evaporación de los mismos.

Figura 3.5



*Ciclo hidrológico*

### 3.4 Estudios de mecánica de suelos

Las propiedades mecánicas de los suelos varían de manera significativa dependiendo de la ubicación de un sitio de disposición final. Estas propiedades tienen gran influencia en el comportamiento de diversos fenómenos (asentamientos, etc.) presentes en los rellenos sanitarios, por lo que resulta de suma importancia su determinación mediante los trabajos de campo y laboratorio que se requieran.

Con los resultados que se obtengan de los estudios de laboratorio será posible establecer la necesidad de realizar algunas obras particulares (creación de áreas verdes) relativas a la clausura de un sitio en particular, se podrá establecer la altura máxima del relleno, el potencial de infiltración de Lixiviado, el espesor mínimo de suelo requerido para eliminar la agresividad de éstos, etc.

#### 3.4.1 **Muestreo**

Existen dos tipos de muestreo que son el alterado y el inalterado. A continuación se describe cada uno de ellos.

### **Muestras Alteradas**

Se toma una muestra de cada uno de los pozos a cielo abierto, éstos se harán en cantidad de uno por hectárea, tomándose el sitio más representativo para cada uno de ellos.

El procedimiento para la extracción de muestras alteradas es el siguiente:

Una vez excavado el pozo, se procede a abrir una ranura vertical de sección uniforme de 20 cm de profundidad y que llegue al fondo del mismo.

El material obtenido se coloca en un bote de lámina que debe estar debidamente identificado con los siguientes datos: banco, fecha, pozo y profundidad.

### **Muestras Inalteradas**

Se debe tomar cuando menos una muestra inalterada del sitio por capas, cuyo punto de extracción estará lo más cercano al centro del terreno elegido para el relleno sanitario.

Las muestras inalteradas, deben conservar las condiciones del suelo en su estado natural, por lo que su obtención, empaque y transporte requieren de cuidados especiales.

El procedimiento para la obtención, empaque y transporte de estas muestras es el siguiente:

- Se debe limpiar y nivelar el terreno.
- Se introduce un tubo muestreador hasta donde la resistencia del terreno lo permita.
- Se excava alrededor del tubo muestreador para evitar la fricción de la cara exterior del tubo.
- Se introduce el tubo hasta los primeros 25 cm. perpendicular al suelo que se trabaje.
- Se recorta la muestra de suelo por su base y se enrasa al tamaño del tubo. Se protegen las bases de la muestra con vendas de manta impregnadas con parafina y brea.
- Se empaca la muestra en un cajón de madera con aserrín, papel o paja.
- Por último se identifica cada una de las muestras.

Una vez que se tengan las muestras en el laboratorio se procede a realizar los siguientes análisis:

- Contenido orgánico total.
- Granulometría.
- Capacidad de intercambio catiónico.
- Límites de consistencia.
- pH.
- Clasificación de suelos.
- Porosidad.
- Humedad.
- Peso volumétrico.
- Permeabilidad.
- Capacidad de Carga.
- Compactación-Proctor Estándar.
- Compresión triaxial.

Los resultados de éstos estudios deben presentarse en un anexo respaldados, incluso, con planos donde se ubiquen los sitios de muestreo, así como las características e información general de los muestreos realizados, complementados con la simbología, claves y notas usuales para este tipo de estudios.

### 3.4.2 Parámetros

A continuación se indican algunos de los parámetros más usuales (ver Tabla 3.1):

#### Porosidad

La porosidad se expresa como:

$$\text{Porosidad} = \frac{(\text{Vol. Total}) - (\text{Vol. Sólido})}{\text{Vol. Total}} (100)$$

La porosidad en los suelos puede variar como se indica en la siguiente tabla:

**Porosidad en algunos suelos.**

<u>Material</u>	<u>Porcentaje %</u>	
Arena y grava.	35	- 50
Arenas apisonadas.	25	- 30
Pizarras y arcillas pizarrosas	0.5	- 8
Arcillas.	44	- 47
Tierras vegetales.	37	- 65

**Coefficiente de Permeabilidad**

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$K = Q / A (\Delta h / \Delta l)$$

donde:

- K Es el coeficiente de permeabilidad, en cm/seg.
- Q Es el caudal o flujo, en cm<sup>3</sup> / seg.
- A Es el área, en cm<sup>2</sup>.
- $\Delta h / \Delta l$  Es la pendiente hidráulica, en milésimas.

El coeficiente de permeabilidad (K) para diferentes tipos de suelos, varía como se indica a continuación:

**Coefficiente de Permeabilidad " K "**

<u>Material.</u>	<u>K ( cm. / seg. )</u>	
GRAVA LIMPIA	10 <sup>2</sup>	- 10 <sup>0</sup>
ARENAS LIMPIAS. ARENAS LIMPIAS Y MEZCLAS DE GRAVA	10 <sup>0</sup>	- 10 <sup>-3</sup>
SUELOS IMPERMEABLES MODIFICADOS POR LOS EFECTOS DE LA VEGETACION E INTEMPERIZACION	10 <sup>-2</sup>	- 10 <sup>-7</sup>
ARENAS MUY FINAS, LIMOS ORGANICOS E INORGANICOS, MEZCLAS DE ARENA, LIMO Y ARCILLA MORENO GLACIAL, DEPOSITOS ESTRATIFICADOS DE ARCILLA, ETC.	10 <sup>-3</sup>	- 10 <sup>-7</sup>
SUELO IMPERMEABLES, ARCILLAS HOMOGENEAS BAJO LA ZONA DE INTEMPERIZACION.	10 <sup>-7</sup>	- 10 <sup>9</sup>



### **3.4.3 Pruebas de Permeabilidad**

Las pruebas de permeabilidad se clasifican como sigue:

#### **En el campo**

- Pozos de absorción.
- Pozos de Filtración.
- Pozos en material homogéneo.

#### **En el Laboratorio**

- Permeámetro de carga constante.
- Permeámetro de carga variable.
- Permeámetro de capilaridad horizontal.

#### **Pozos de Absorción**

- Se excavan pozos de 20 x 30 x 30 cm., en lugares representativos.
- Estos pozos se espacian 60 m. ó bien, se perforan cuatro en cada hectárea.
- Se raspa el fondo y las paredes para eliminar superficies sucias o grasosas.
- Cada pozo se llena con agua unas tres veces antes de tomar las lecturas, para saturar el terreno circundante. Se puede dejar el agua toda una noche con el mismo objeto, después de lo cual se vuelve a llenar con agua el pozo.
- Se determina el tiempo de infiltración como indicio de la permeabilidad. Esta prueba es representativa de una capa de material de un metro.
- Si el descenso total del agua se realiza en menos de una hora, se puede decir que el terreno es permeable e inadecuado. Si el agua tarda más de una hora en infiltrarse totalmente, el terreno puede ser bueno.

- Un manto es prácticamente impermeable si el agua tarda de 24 horas en ser absorbida completamente.
- A partir del tiempo de infiltración se calcula el volumen de infiltración, en  $m^3 / m^2$ .

### **Pozos de Filtración**

Se excavan dos pozos a una distancia de un metro, se llenan de agua y así se mantienen con una diferencia de nivel de un metro. La permeabilidad en este caso se calcula por medio de redes de flujo.

### **Pozos en Material Homogéneo**

Utilizando la fórmula de THIEMES se puede obtener el coeficiente de permeabilidad, cuando el material es homogéneo, excavando estos pozos e instalando en uno de ellos un equipo de bombeo y midiendo el abatimiento del nivel freático en los otros.

### **Permeámetro de carga constante**

Se utiliza para suelos relativamente permeables como: grava, arena y mezcla de arena y grava cuyos coeficientes de permeabilidad varían de  $10^2$  a  $10^{-3}$  cm./seg.

### **Permeámetro de carga variable**

Esta prueba se utiliza para determinar el coeficiente de permeabilidad de suelos relativamente impermeables tales como: mezclas de arena, limo y arcillas, limos con arcilla o arcillas simplemente. El coeficiente de permeabilidad de estos suelos varía de  $10^{-4}$  a  $10^{-9}$  cm./seg.

### **Permeabilidad por capilaridad horizontal**

Se usa cuando los materiales tienen una permeabilidad comprendida entre  $10^{-1}$  y  $10^{-5}$  cm./seg. Es adecuada para ensayar con gran rapidez un buen número de muestras en el campo.

### 3.4.4 Granulometría

En los comienzos de la investigación de las propiedades de los suelos se creyó que las propiedades mecánicas dependían directamente de la distribución de las partículas constituyentes según sus tamaños; por ello era preocupación especial de los ingenieros la búsqueda de métodos adecuados para obtener tal distribución. Aún hoy, tal parece que todo técnico interesado en suelos debe pasar a modo de etapa de iniciación, por una época en que se siente obligado a creer que, con suficiente experiencia, es posible deducir las propiedades mecánicas de los suelos a partir de su distribución granulométrica o descripción por tamaño; es común, sin embargo, que una no muy dilatada experiencia haga que tal sueño se desvanezca.

El análisis consiste en separar y clasificar por tamaños el material del suelo. A partir de la distribución de los granos es posible formarse una idea de la graduación del material; un material bien graduado (de todos tamaños) tiende a ser impermeable; una cantidad del 10% de partículas menores que pasa la malla No. 200 en arenas y gravas puede hacer que el suelo sea virtualmente impermeable.

Los suelos gruesos cuando carecen de finos son permeables. A medida que una arena se hace más fina y más uniforme decrece su permeabilidad.

A partir del análisis granulométrico se obtiene el diámetro efectivo, la porosidad y el coeficiente de uniformidad.

Los límites de tamaño de las partículas que constituyen un suelo, ofrecen un criterio obvio para una clasificación descriptiva del mismo. Tal criterio fue usado en Mecánica de Suelos desde un principio e incluso antes de la etapa moderna de esta ciencia. Originalmente, el suelo se dividía únicamente en tres o cuatro fracciones debido a lo engorroso de los procedimientos disponibles de separación por tamaños. Posteriormente, con el advenimiento de la técnica del cribado, fue posible efectuar el trazo de curvas granulométricas, contando con agrupaciones de las partículas del suelo en mayor número de tamaños diferentes.

Actualmente se pueden ampliar notablemente las curvas en los tamaños finos, gracias a la aplicación de técnicas de análisis de suspensiones.

Algunas clasificaciones granulométricas de los suelos según sus tamaños, son las siguientes:

a) Clasificación Internacional.

Basada en otra desarrollada en Suecia

Tamaño en mm.

2.0	0.2	0.02	0.002	0.0002
Arena Gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla	Ultra-arcilla (Coloides)

b) Clasificación M.I.T.

Fue propuesta por G. Gilboy y adaptada por el Massachusetts Institute of Technology.

Tamaño en mm.

2.0	0.6	0.2	0.06	0.02	0.006	0.002	0.0006	0.0002
Gruesa	Media	Fina	Grueso	Medio	Fino	Gruesa	Media	Fina (Coloides)
ARENA			LIMO			ARCILLA		

c) La siguiente clasificación, utilizada a partir de 1936 en Alemania, está basada en una proposición original de Kopecky.

MATERIAL	CARACTERISTICA	TAMANO mm.
Piedra	-- -- --	Mayor de 70 mm.
	Gruesa	30 a 70
Grava	Media	5 a 30
	Fina	2 a 5

	Gruesa	1 a 2
Arena	Media	0.2 a 1
	Fina	0.1 a 0.2
	Grueso	0.05 a 0.1
Polvo	Fino	0.02 a 0.05
	Grueso	0.006 a 0.02
Limo	Fino	0.002 a 0.006
	Gruesa	0.0006 a 0.002
Arcilla	Fina	0.0002 a 0.0006

Debajo de 0.00002 mm. las partículas constituyen disoluciones verdaderas y ya no se depositan.

Con frecuencia se han usado otros tipos de clasificación, destacando el método del Public Roads Administration de los Estados Unidos, pero su interés es hoy menor cada vez, por lo cual se considera que las clasificaciones señaladas son suficientes para dar idea del mecanismo utilizado en su elaboración.

La tabla 3.1 nos muestra la terminología usada comúnmente en la clasificación de suelos, aceptada mundialmente.

### 3.5 Estudios Topográficos

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

TABLA 3.1

CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS) Y CARACTERISTICAS PERTINENTES PARA SU USO EN RELLENOS SANITARIOS.

SIMBOLOGIA		NOMBRE	Evaluación cuando no están sujetos a heladas	Calificación	Capacidad de Congelamiento	Compresibilidad y expansión	Características y Drenaje	Valores para Terraplenes	Permeabilidad en cm/seg *	Características de compactación **	Prueba Proctor Estándar o A ***	Requerimientos para control de la Infiltración
GW	Rojo	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con arena con poco o nada de finos	excelente	bueno	Nada a muy escaso	Casi nada	Excelente	Muy estables, talud permeable de diques y presas	$K > 10^{-2}$	Bueno, Tractor, Tractor de Neumático o de oruga	2000-2100	Control necesario
GP	Rojo	Grava mal graduada o mezcla de grava y arena poco o nada de fino	Bueno a excelente	Nada a muy escaso	Pobre a regular	Casi nada	excelente	Razonablemente estable, talud permeable de diques y presas	$K > 10^{-4}$	Bueno, Tractor, Tractor de Neumático o de oruga	1840-2000	Control necesario
GM	Amarillo	Gravas fangosas, mezcla de grava arena y limo	Bueno a excelente	Regular a bueno	Escaso a medio	Muy escaso	Regular a pobre Pobre a prácticamente impermeable	No razonablemente estable, no particularmente adecuada para taludes pero puede ser usado para corazones impermeables y cubiertas	$K = 10^{-4}$ a $10^{-7}$	Bueno con control estricto, tractor de neumáticos, Rodillo pata de Cabra	1920-2160	Con puntal a ninguno
GC	Amarillo	Gravas arcillosas, mezcla de grava arena y arcilla	Bueno	Pobre	Escaso a medio	Escaso	Pobre a prácticamente impermeable	Escasamente estable, puede ser usado como corazón impermeable	$K = 10^{-6}$ a $10^{-4}$	Regular, con control estricto, tractor de neumáticos, rodillo pata de Cabra	1640-2080	Ninguno
SW	Rojop	Arenas bien graduadas o arenas gravosas poco o nada de finos	Bueno	pobre	Nada a muy escaso	Escaso	Excelente	Muy estable las secciones permeables de la pendiente necesitan protección	$K > 10^{-2}$	Bueno con tractor	1760-2000	Control aguas arriba y obras de drenaje
SP	Rojo	Arenas pobremente graduadas o arenas gravosas poco o nada de finos	Regular a bueno	Pobre no utilizable	Nada a muy escaso	Casi nada	Excelente	Razonablemente estable, puede usarse en secciones de diques, con pendientes suaves	$K > 10^{-1}$	Bueno con tractor	1600-1820	Control aguas arriba y obras de drenaje
SM	Amarillo	Arenas fangosas mezcla de arena y sedimento	Bueno	Pobre	Escaso a alto	Muy escaso	Regular a pobre, pobre a prácticamente impermeable	Escasamente estable, particularmente	$K = 10^{-3}$ a $10^{-7}$	Bueno con control estricto, tractor de neumáticos, Rodillo pata de Cabra	1760-2000	Control aguas arriba y obras de drenaje
SC	Amarillo	Arenas arcillosas mezcla de arena y arcilla	Regular a bueno	No utilizables	Escaso a alto	Escaso a medio	Pobre a prácticamente impermeable	Escasamente estable usado para corazones estable en estructuras de control de inundaciones	$K = 10^{-3}$ a $10^{-7}$	Regular, con control estricto, tractor de neumáticos, rodillo para de Cabra	183-2000	Ninguno

TABLA 3.1

CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS) Y CARACTERISTICAS PERTINENTES PARA SU USO EN RELLENOS SANITARIOS.

SIMBOLOGIA		NOMBRE	Evaluación cuando no están sujetos a heladas	Calificación	Capacidad de Congelamiento	Compresibilidad y expansión	Características y Drenaje	Valores para Terraplenes	Permeabilidad en cm/seg	Características de compactación	Prueba Proctor Estándar o A...	Requerimientos para control de la Infiltración
ML	Verde	Sedimentos inorgánicos y arenas muy finas de descomposición de toca fango de arena fina arcillosa, o sedimentos arcillosos con plasticidad despreciable	Regular a pobre	No utilizable	Medio a muy alto	Escaso a medio	Regular a pobre	Baja estabilidad, usado con control puede ser usado en taludes	$K=10^{-4}$ a $10^{-6}$	Bueno a malo, control estricto, tractor con neumáticos o rodillos pata de Cabra	1500-1800	Con puntal a ninguno
CL	Verde	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad arcillas con grava, arcillas arenosas sedimentos de arcilla y arcillas negras	Regular a pobre	No utilizable	Medio a alto	Medio	Prácticamente impermeable	Estable, para corazones impermeables y cubiertas	$K=10^{-4}$ a $10^{-6}$	Regular a bueno, tractor de neumáticos, rodillos pata de Cabra	1320-1820	ninguno
OL	Verde	Sedimentos orgánicos y sedimentos arcillosos orgánicos de bajo plasticidad	Pobre	No utilizable	Medio a alto	Medio a alto	Pobre	No adecuado para terraplenes	$K=10^{-4}$ a $10^{-6}$	Regular a malo, rodillos para de Cabra	1280-1500	Ninguno
	Azul	Sedimentos inorgánicos, arenas finas con micáceos o diatomáceos o suelos fangosos sedimentos elásticos	Pobre	No utilizable	Medio a muy alto	Alto	Regular a pobre	Baja estabilidad, corazones de presas hidráulicas, no deseado en la construcción de rellenos	$K=10^{-4}$ a $10^{-6}$	Malo muy malo, rodillos para de Cabra	1120-1320	Ninguno
CH	Azul	Arcillas orgánicas, arcillas gruesas	Pobre a muy pobre	No utilizable	Medio	alto	Prácticamente impermeable	Escasa estabilidad con pendientes muy suaves, corazones delgados, secciones de dique y cubiertas	$K=10^{-4}$ a $10^{-6}$	Regular a malo, rodillos pata de Cabra	1200-1680	Ninguno
OH	Azul	Ardillas orgánicas de mediana o alta plasticidad, sedimentos orgánicos	pobre a muy pobre	No utilizable	Medio	alto	Prácticamente impermeable	No adecuado para terraplenes	$K=10^{-4}$ a $10^{-6}$	Malo, muy malo, rodillos para de Cabra	1010-1500	Ninguno
FI	Naranja	Turba y otros suelos altamente orgánicos	No utilizables	No utilizable		Muy alto		No recomendado para la construcción de rellenos sanitarios.				

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

### 3.5.1 Localización

#### Planimetría

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

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

Las tolerancias permisibles para este tipo de trabajo son:

- Tolerancia angular =  $1/N$

donde:

N Es el número de vértices de la poligonal.

- Tolerancia lineal =  $1/5000$

El levantamiento de las poligonales se dibuja en el tamaño de plano y debe llevar las siguientes escalas.

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

En el mismo plano se ponen los datos obtenidos del levantamiento de campo.

#### Altimetría

Para el inicio de este trabajo se localiza un punto fijo, que sirva como banco de nivel arbitrario y de referencia para toda la altimetría. Este punto puede ubicarse



en cualquier estructura de fácil localización cercana al terreno, como la base de un puente, vía de ferrocarril, carretera, etc.

Todos los vértices de la poligonal envolvente deben ser monumentados, mismos que sirvan de bancos de nivel auxiliares.

Una vez establecido el banco de nivel fijo se procede a correr una nivelación a lo largo de la poligonal abierta, con punto nivelado a cada 20.00 m. como máximo, y menor de 20.00 m. en donde se detecte algún accidente topográfico del terreno para definir el perfil del camino de acceso.

### Secciones

Estas se trabajan a partir de la estación 0 + 000 del camino de acceso, y son definidas con base en las estaciones que previamente se establecen en el perfil del camino. Estas deben ser perpendiculares al perfil longitudinal y deben abarcar una distancia de 20.00 m. a cada lado.

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

Para nivelación del perfil longitudinal;  $10\sqrt{nk}$ , donde "nk" es el número de kilómetros. Esta nivelación se corre de ida y vuelta partiendo del Banco de Nivel inicial, al último número de la poligonal abierta.

El número de trabajo para definir la planimetría de la poligonal cerrada debe ser con base en un central que divide el terreno en dos, y ejes paralelos a cada cincuenta metros, mismos que deben seccionarse transversalmente a cada 25.00 metros máximo, o menos, según lo amerite la topografía del terreno para superficies de 8 hectáreas y a 50.00 metros, en terreno mayores de 8 hectáreas.

Con base en los perfiles longitudinales y las secciones transversales obtenidas se puede calcular el volumen del sitio del relleno sanitario mediante la siguiente fórmula:

$$V = f [ Ds (A_1 + A_2)/2 ]$$

donde :

- V Es el volumen entre secciones.
- Ds Es la distancia entre secciones.
- A<sub>1</sub> Es el área de la sección No. 1
- A<sub>2</sub> Es el área de la sección No. 2

Estos datos se ponen en un plano donde se obtiene la curva masa.

Los métodos más usuales para el cálculo de volumen son:

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

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

### **Curvas de Nivel**

Para definir las curvas de nivel se procede de la siguiente forma:

Se obtiene una copia reproducible del plano que contiene la poligonal envolvente y las curvas de igual nivel se trazan con base en las secciones transversales que anteriormente se procesaron.

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

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

## **CAPITULO 4**

### **DESARROLLO DEL DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO**

Después de realizar el diseño del relleno sanitario se ejecuta el proyecto. Obviamente, el mejor diseño no significará nada si no existe **voluntad político-administrativa** (por parte de las autoridades de la entidad donde se encuentre el relleno sanitario) para que sea ejecutado debidamente. La construcción de un relleno sanitario es de importancia fundamental en comparación con la de otras obras, debido a la duración de su ejecución y al permanente mantenimiento que requiere.

Para planear el avance de la obra, es conveniente disponer de los **planos topográficos del proyecto**, con sus perfiles longitudinales y transversales en los que se indique la configuración parcial de las áreas rellenadas con cada etapa.

Sobre estos planos se programa la marcha de la obra, el frente de trabajo y su avance, calculando los volúmenes ocupados y las alturas, de acuerdo con las curvas de nivel y cotas alcanzadas.

#### **4.1 Diseño de la celda diaria**

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

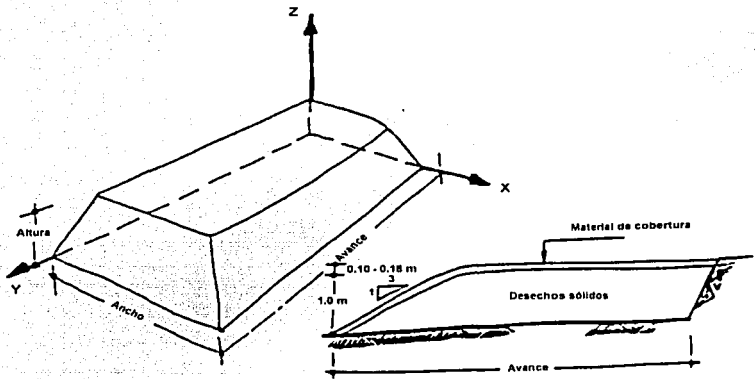
Las celdas se diseñan conociendo la cantidad de residuos sólidos recolectados diariamente que llegan al sitio del relleno sanitario seleccionado.

Los elementos de una celda son: su altura, largo, ancho del frente de trabajo, pendiente de los taludes laterales y espesores del material de cubierta diario y del último nivel de celdas. Figura 4.1.

La altura de la celda depende de la cantidad de los residuos que se depositen, del espesor de material de cubierta (tierra), la estabilidad de los taludes y la

compactación. Mientras más altas sean las celdas, menor será la cantidad de tierra necesaria para cubrir a los residuos en todo el relleno y mientras menor sea la altura de las celdas, el relleno requerirá de mayor cantidad de material de cubierta.

Figura 4.1



Celda típica diaria

El ancho mismo de la celda, o mínimo frente de trabajo, dependerá de la longitud de la cuchilla del equipo que se emplee en la construcción de las celdas. Se recomienda que el ancho mínimo sea de 2 a 2.5 veces el largo de la cuchilla de la maquinaria. Este factor de aumento es considerado para facilitar las maniobras de la maquinaria. En la tabla 4.1 se presentan los valores para seleccionar el ancho mínimo de la celda.

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

En la tabla 4.2 se proporcionan los valores de frente de trabajo recomendables dependiendo del número de vehículos que lleguen al relleno en la hora pico para disponer los residuos.

El talud de la celda es el plano inclinado en donde se apoyan los residuos y los equipos compactadores. Su inclinación, se especifica mediante un ángulo o una relación que indica el número de unidades que se avanza en dirección horizontal

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TABLA 4.1

**ANCHO MINIMO RECOMENDADO DE CELDA O MINIMO DE FRENTE DE TRABAJO  
DEPENDIENDO DE LA CANTIDAD DE RESIDUOS QUE LLEGUEN AL RELLENO**

TONELADA DIARIAS DE RESIDUOS QUE LLEGAN AL RELLENO	POTENCIA EN CABALLOS DE FUERZA (HP) DE EL EQUIPO			LONGITUD DE LAS CUCHILLAS DEL EQUIPO EN METROS	ANCHO MINIMO DE LAS CELDAS EN METROS
	TRAXCAVO	BULLDOSER	CARGADOR DE NEUMATICO		
20 - 50	< 70	< 80	< 100	Hasta 4.0	8
50 - 130	70 - 100	80 - 110	100 - 120	Hasta 5.5	10
130 - 250	100 - 130	110 - 150	120 - 150	Hasta 6.5	12
250 - 500	130 - 190	150 - 180	150 - 190	Hasta 7.5	15

TABLA 4.2

## FRENTA DE TRABAJO RECOMENDABLE EN UN RELLENO SANITARIO

Número de Vehículos que llegan al Relleno en la hora pico	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Frente de trabajo en metros	12	16	20	24	29	32	36	40	44	48	52

por cada unidad que se avanza verticalmente. Se recomienda que las celdas tengan un talud máximo de 1 a 3, es decir, que por cada metro de altura se avancen 3 metros horizontalmente.

En los métodos de trinchera existe únicamente un frente de trabajo.

En el método de área y combinado pueden existir dos frentes de trabajo.

El material de cubierta, es la tierra necesaria que cubre los residuos después de haberlos depositado, esparcido y compactado; este material, evita la proliferación de animales como ratas; insectos; moscas y mosquitos; malos olores al descomponerse los residuos y la dispersión de los residuos fuera del relleno por el viento.

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

La tabla 4.3 proporciona las dimensiones de la celda diaria, los volúmenes de residuos sólidos, material de cubierta y volúmenes totales diarios dependiendo de las toneladas de residuos sólidos a disponer diariamente y el método de relleno sanitario.

#### 4.1.1 Construcción

La basura debe ser descargada en el **frente de trabajo**, los trabajadores las esparcen sobre el talud de las celdas ya terminadas en capas sucesivas de 0.20 a 0.30 m. empleando para ello horquillas (garfio de tres dientes) o rastrillos (ocho o diez dientes); se nivela la superficie superior y se compacta con el rodillo, a diferencia de las superficies laterales que son compactadas por medio de los pisones de mano hasta darles una relativa uniformidad.

El esparcimiento y compactación se realizan en capas inclinadas con una **pendiente 1:3** (altura: avance), lo cual proporciona mayor grado de compactación, mejor drenaje superficial, menor consumo de tierra, mejor contención y estabilidad del relleno.

Al iniciar la construcción, siempre se debe proporcionar contención al relleno, apoyando cada celda en el talud de terreno natural o paredes de la trinchera, y durante el avance sobre la celda ya terminada.

TABLA 4.3 DIMENSIONES DE LA CELDA DIARIA, VOLÚMENES DE RESIDUOS SÓLIDOS Y MATERIAL DE CUBIERTA, DEPENDIENDO CANTIDAD INICIAL DE RESIDUOS SÓLIDOS A DISPONER.

Cantidad Inicial de Residuos Sólidos a Disponer Ton / día	Peso Volumétrico de los Residuos Sólidos Compactados. Kg./m <sup>3</sup>	Ancho de la Celda m.	Altura de la Celda m.	Longitud de la Celda m.	No. de Celdas en capa ha	Área de la Celda m <sup>2</sup>	Volumen de Residuos Sólidos Diario m <sup>3</sup> /día	Método de Trinchera Volumen Diario de Material de Cubierta m <sup>3</sup> /día	Método de Área Volumen Diario de Material de Cubierta m <sup>3</sup> /día	Método de Trinchera Volumen Diario de Residuos + Material de Cubierta en m <sup>3</sup>	Método de Área Volumen Diario de Residuos Sólidos + Material de Cubierta en m <sup>3</sup>
50	500	8	2.15	6.25	200	50	100	15	22.8	115	122.8
			2.65	5.0	250	40		14.5	24	114.5	124
			3.15	4.1	300.3	33.3		16.5	28.1	116.5	128.1
	600	8	2.15	5.20	240.4	41.6	83.3	14	21.8	97.3	105.1
			2.65	4.16	300.3	33.3		14.5	24	97.8	107.3
			3.15	3.47	359.7	27.8		12	23.6	95.3	106.9
	700	8	2.15	4.5	277.7	36	71.4	13	20.8	84.4	92.2
			2.65	3.6	349.7	28.6		14	23.5	85.4	94.9
			3.15	3.0	416.7	24		15.5	27.1	86.9	98.5
100	500	8	2.15	12.5	500	100	200	22.6	30.4	222.6	230.4
			2.65	10	125	80		21.5	31	221.5	231
			3.15	8.3	165.6	66.4		21.4	33.0	221.4	233.0
	600	8	2.15	10.4	120.2	83.2	167	20	27.8	187	194.8
			2.65	8.3	150.6	66.4		19.5	29	186.5	196
			3.15	6.9	180.2	55.5		17	28.6	184	195.6
	700	8	2.15	8.9	140	71.4	143	18.3	26.1	161.3	169.1
			2.65	7.14	175	57.12		18	27.5	161	170.55
			3.15	5.95	210	47.6		18.5	30.1	161.5	173.1
150	500	10	2.15	15	150	150	300	32	39.8	332	339.8
			2.65	12	83.3	120		30	39.5	330	339.5
			3.15	10	100	100		30	41.6	330	341.6
	600	10	2.15	12.5	88	125	250	28.3	36.1	278.3	286.1
			2.65	10	100	100		24.8	34.3	274.8	284.3
			3.15	8.3	120.5	83		27.3	38.9	277.3	288.9
	700	10	2.15	10.7	193.5	107	214	25.6	33.9	239.6	247.4
			2.65	8.6	116.3	86		24.8	34.3	238.8	248.5
			3.15	7.1	140.8	71		25.6	37.2	239.6	251.2



TABLA 4.3 DIMENSIONES DE LA CELDA DIARIA, VOLÚMENES DE RESIDUOS SÓLIDOS Y MATERIAL DE CUBIERTA, DEPENDIENDO CANTIDAD INICIAL DE RESIDUOS SÓLIDOS A DISPONER.

Cantidad Inicial de Residuos Sólidos a Disponer Ton / día	Peso Volumétrico de los Residuos Sólidos Compactados. Kg./m <sup>3</sup>	Ancho de la Celda m.	Altura de la Celda m.	Longitud de la Celda m.	No. de Celdas en capa ha	Área de la Celda m <sup>2</sup>	Volumen de Residuos Sólidos Diario m <sup>3</sup> /día	Método de Trinchera Volumen Diario de Material de Cubierta m <sup>3</sup> /día	Método de Área Volumen Diario de Material de Cubierta m <sup>3</sup> /día	Método de Trinchera Volumen Diario de Residuos + Material de Cubierta en m <sup>3</sup>	Método de Área Volumen Diario de Residuos + Material de Cubierta en m <sup>3</sup>
200	500	10	2.15	25	10	250	400	47	54.8	447	454.8
			2.65	20	30	200		42	51.5	442	451.5
			3.15	16.7	59.9	167		40	51.6	440	451.6
	600	10	2.15	16.7	51.8	167	333	34.6	42.4	367.6	375.4
			2.65	13.3	75.2	133		32	41.5	365	374.5
			3.15	11.1	90	111		31.6	63.2	364.6	396.2
	700	10	2.15	14.3	69.9	143	357	31	38.8	388	395.8
			2.65	11.4	87.7	114		29	38.5	386	395.5
			3.15	9.5	105.3	95		31.6	63.2	388.6	420.2
250	500	12	2.15	20.8	40.0	249.6	500	48.8	56.6	548.8	556.6
			2.65	16.7	49.9	200.4		44.3	53.8	544.3	553.8
			3.15	13.9	59.9	166.8		43	54.6	543	554.6
	600	12	2.15	17.4	47.9	208.8	417	42.7	50.5	459.7	467.5
			2.65	13.9	60.0	166.8		39.62	49.12	456.62	466.12
			3.15	11.6	72.0	138.8		38.7	77.4	455.7	494.4
	700	12	2.15	14.9	55.9	178.8	357	38.2	46.0	395.2	403.0
			2.65	12	69.4	144		35.8	45.3	392.8	402.3
			3.15	10	83.3	120		36	47.6	393	404.6
300	300	15	2.15	20	33.3	300	600	59.3	67.1	659.3	667.1
			2.65	16	41.7	240		53.8	63.3	653.8	663.3
			3.15	13.3	50.1	199.5		52.2	63.8	652.2	663.8
	600	15	2.15	16.7	39.9	250.5	500	51.9	59.7	551.9	559.7
			2.65	13.3	50	199.5		47.7	57.2	547.7	557.2
			3.15	11.1	60	166.5		47.3	58.9	547.3	558.9
	700	15	2.15	14.2	46.9	213	429	46.3	54.1	475.3	483.1
			2.65	11.4	58.5	171		43.4	52.9	472.4	481.9
			3.15	9.5	70	142.5		43.7	55.3	472.7	484.3

TABLA 4.3 DIMENSIONES DE LA CELDA DIARIA, VOLÚMENES DE RESIDUOS SÓLIDOS Y MATERIAL DE CUBIERTA, DEPENDIENDO CANTIDAD INICIAL DE RESIDUOS SÓLIDOS A DISPONER.

Cantidad Inicial de Residuos Sólidos a Disponer Ton / día	Peso Volumétrico de los Residuos Sólidos Compactados. Kg./m <sup>3</sup>	Ancho de la Celda m.	Altura de la Celda m.	Longitud de la Celda m.	No. de Celdas en capa	Area de la Celda m <sup>2</sup>	Volumen de Residuos Sólidos Diario m <sup>3</sup> /día	Método de Trinchera Volumen Diario de Material de Cubierta m <sup>3</sup> /día	Método de Área Volumen Diario de Material de Cubierta m <sup>3</sup> /día	Método de Trinchera Volumen Diario de Residuos + Material de Cubierta en m <sup>3</sup>	Método de Área Volumen Diario de Residuos Sólidos + Material de Cubierta en m <sup>3</sup>
350	500	15	2.15	23.3	28.6	349.5	700	66.7	74.5	766.7	774.5
			2.65	18.6	35.8	279		59.6	69.1	759.6	769.1
			3.15	15.5	43	232.5		57.2	68.8	757.2	768.8
	600	15	2.15	19.4	34.4	291	583	57.9	65.7	640.9	648.7
			2.65	15.6	43	234		52.9	62.4	635.9	645.4
			3.15	13	52	195		51.6	63.2	634.6	646.2
	700	15	2.15	16.6	40	249	500	51.7	59.5	551.7	559.5
			2.65	13.3	50	199.5		47.8	57.3	547.8	557.3
			3.15	11.1	60	166.5		47.3	58.9	547.3	558.4
400	500	15	2.15	26.7	25	400.5	800	74.4	82.2	874.4	882.2
			2.65	21.3	31	319.5		65.7	75.2	865.7	875.2
			3.15	17.8	37.5	267		62.4	74.0	862.4	874.8
	600	15	2.15	22.2	30	333	667	64.2	72.0	731.2	731.2
			2.65	17.8	37.5	267		57.8	67.3	724.8	724.8
			3.15	14.8	45	222		55.6	67.2	722.6	722.6
	700	15	2.15	19	35	285	371	57	64.8	428	445.8
			2.65	15.2	43.9	228		52	61.5	423	432.5
			3.15	12.7	52.5	190.5		51	62.6	422	433.6
450	500	15	2.15	30	22.2	450	900	81.8	89.6	981.8	989.6
			2.65	24	28	360		71.8	81.3	971.8	981.3
			3.15	20	33.3	300		67.3	78.9	967.8	978.9
	600	15	2.15	25	26.7	375	750	70.6	78.4	820.6	828.4
			2.65	20	33.3	300		62.8	72.3	812.8	822.3
			3.15	16.7	40	250.5		59.9	71.5	809.9	821.5
	700	15	2.15	21.4	31	321	643	62.4	70.2	705.4	713.2
			2.65	17.1	39	256.5		56.3	65.8	699.3	708.8
			3.15	14.3	47	214.5		54.5	66.1	697.5	709.1

TABLA 4.3 DIMENSIONES DE LA CELDA DIARIA, VOLUMENES DE RESIDUOS SÓLIDOS Y MATERIAL DE CUBIERTA, DEPENDIENDO CANTIDAD INICIAL DE RESIDUOS SÓLIDOS A DISPONER.

Cantidad Inicial de Residuos Sólidos a Disponer Ton / día	Peso Volumétrico de los Residuos Sólidos Compactados. Kg./m <sup>3</sup>	Ancho de la Celda m.	Altura de la Celda m.	Longitud de la Celda m.	No. de Celdas en capa ha	Área de la Celda m <sup>2</sup>	Volumen de Residuos Sólidos Diario m <sup>3</sup> /día	Método de Trinchera Volumen Diario de Material de Cubierta m <sup>3</sup> /día	Método de Área Volumen Diario de Material de Cubierta m <sup>3</sup> /día	Método de Trinchera Volumen Diario de Residuos + Material de Cubierta en m <sup>3</sup>	Método de Área Volumen Diario de Residuos Sólidos + Material de Cubierta en m <sup>3</sup>
500	500	15	2 15	33.3	20	500	1000	89.3	97.1	1089.3	1097.1
			2 65	26.6	25	399		77.7	97.2	1077.7	1097.2
			3 15	22.2	30	333		72.2	83.8	1072.2	1083.8
	600	15	2 15	27.8	24	417	833	76.8	84.6	909.8	917.6
			2 65	27.2	30	333		67.8	77.3	900.8	910.3
			3 15	18.5	36	277.5		63.9	75.5	896.9	908.5
	700	15	2 15	23.8	28	357	714	67.8	75.6	781.8	789.6
			2 65	19	35	285		60.5	70.0	774.5	784.0
			3 15	15.9	42	238.5		58	69.6	772	783.6

#### **4.2 Diseño de franjas**

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

Tomando en cuenta las franjas y capas programadas, se deben considerar las obras de infraestructura, tales como caminos de acceso y drenajes.

El diseño de las franjas, estará de acuerdo con la topografía del lugar donde se ubique el relleno sanitario y su número dependerá de las dimensiones de la celda requerida diariamente para depositar los residuos sólidos.

Será variable el número de celdas que se podrán unir para formar una franja, el sentido de su construcción irá de extremo a extremo y de la parte más alta a la parte más baja de la superficie del relleno.

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

Después de formar la franja el equipo mecánico nivelará la altura de las celdas con material de cubierta con el fin de que la superficie tenga la misma pendiente que la de la capa.

En los planos que ubican las construcciones del relleno con las capas cada franja se numerará con dos subíndices; el primero indicará la capa correspondiente y el segundo la franja. El sentido de la construcción de las franjas se realiza de la parte más baja a la más alta del terreno.

#### **4.3 Diseño de capas**

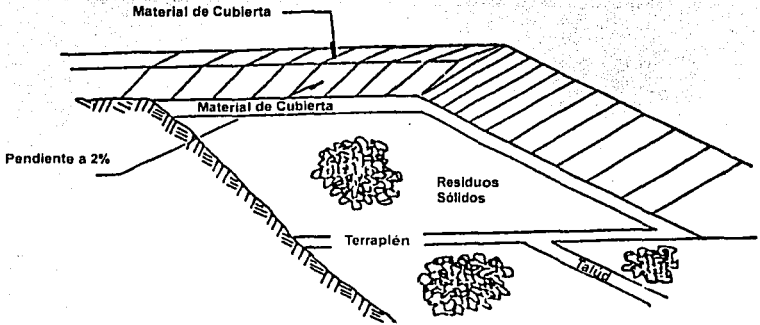
Se llama capa al conjunto de celdas que ocupan un mismo nivel en un relleno. Las celdas se unen unas con otras para formar las franjas y éstas al irse juntando forman lo que se denomina capa.

Las capas se diseñan considerando la altura del sitio disponible para el relleno y al ubicarse en el plano de construcción, se calendarizan y se numeran de abajo hacia arriba usando dos subíndices, uno indicando capa y otro celda.

Para evitar infiltraciones pluviales y facilitar el escurrimiento del agua de lluvia, la superficie de las capas tendrá una pendiente del 1 al 2% a partir del eje longitudinal de la capa (figura 4.2) teniendo la precaución de no dejar al descubierto los residuos ya sea por la acción del viento o escurrimiento de aguas superficiales o pluviales. Figura 4.2ª.

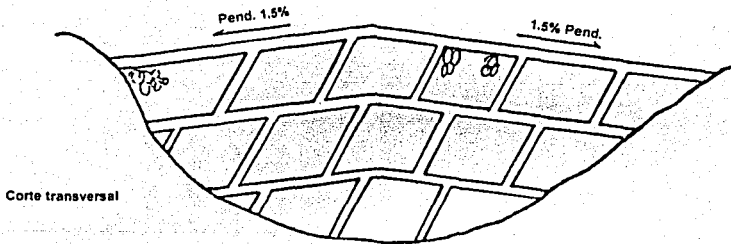
El criterio para establecer el espesor de las capas estará en función de la altura de celda así como del tipo de material existente para cubierta (ver tabla 4.4).

Figura 4.2



Capa superficial con material de cubierta

Figura 4.2ª



Capa superficial con material de cubierta

TABLA 4.4

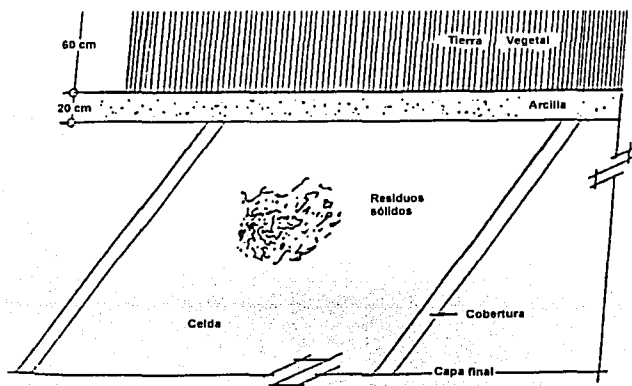
PENDIENTE DE LAS CAPAS DEPENDIENDO DEL CLIMA DE LA REGION  
Y LA PERMEABILIDAD DEL MATERIAL DE CUBIERTA.

MATERIAL DE CUBIERTA	TIPO DE REGION		
	PENDIENTE		
	TRANSVERSAL		LONGITUDINAL
	HÚMEDA	SECA	
Permeable	2 %	1 %	1.5 %
Impermeable	1 %	1 %	1.5 %

#### 4.4 Material de cubierta

La celda diaria de basura compactada, se deberá cubrir con tierra compactada al final del día. Este recubrimiento, deberá poseer un espesor suficiente para tapar totalmente los residuos y corregir las irregularidades de las basuras compactadas, de manera que las superficies terminadas, queden limpias y con las pendientes necesarias para prevenir la erosión y permitir un drenaje controlado de los escurrimientos pluviales superficiales. Figura 4.3.

Figura 4.3



**Capa final**

El material de cubierta tiene las siguientes funciones: impedir la entrada y salida de fauna nociva (roedores), reducir los malos olores y ayudar al control de incendios así como también evitar la entrada de agua. Las pruebas experimentales han demostrado que una capa de 15 cm de arcilla arenosa compactada cumple con estos requisitos. La aplicación diaria de la cubierta reduce grandemente la atracción de las aves y los roedores sobre los desechos en busca de alimento y es esencial para mantener una buena apariencia del relleno sanitario.

Muchos tipos de suelos cuando están debidamente compactados muestran baja permeabilidad, no se contraen y pueden ser usados para retener el agua que pudiera entrar el relleno y por consecuencia incrementar el volumen de lixiviado.

El control de la emanación de gases es también una función esencial del material de cubierta. Dependiendo de la profundidad planeada para el terreno recuperado por el relleno, los gases pueden ser bloqueados o ventilados a través del material de cubierta. Un suelo permeable que no retenga mucha agua puede servir como un buen material para ventilar los gases. Arena limpia, grava chica o roca quebrada son excelentes cuando se mantienen secas. Si se debe evitar que los gases salgan a través del material porque existe una población cercana u otro motivo, un suelo impermeable de éstos, con alta capacidad de retención de humedad debe ser utilizado.

Al cubrir los desechos los protege contra el fuego. Casi todos los suelos son incombustibles por lo que la cubierta y los taludes de cada una de las celdas del relleno ayudan a confinar el fuego dentro de ésta si se llegara a generar.

El uso de un suelo compactable y de baja permeabilidad ofrece una buena medida para la prevención de fuegos, ya que minimiza el flujo de oxígeno.

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

La cubierta una vez terminada frecuentemente sirve para que puedan transitar vehículos sobre ella. Cuando esto sea el caso deberá ser transitable bajo cualquier condición climática.

En época lluviosa la mayoría de las arcillas son suaves y resbalosas; en general, la última cubierta de suelo debe ser capaz de mantener vegetación.

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

Hay muchos suelos capaces de ser utilizados como material de cubierta. Diferencias menores en el tamaño de la partícula o en la mineralogía de las arcillas pueden resultar significativas en el comportamiento del suelo que cae bajo una cierta división o grupo. Diferentes métodos de compactación y colocación en un mismo suelo pueden provocar comportamientos distintos; por ejemplo, el



contenido de humedad durante su colocación es un factor crítico, ya que influye en la densidad, esfuerzo y porosidad.

El suelo que se encuentran en el terreno del relleno deberá ser muestreado (barrenado o excavado) para su clasificación. El volumen de un suelo apropiado para utilizarse como cubierta puede ser entonces estimado y la profundidad de excavación para la disposición de desechos puede ser determinada.

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

Las arcillas se expanden al humedecerse y su permeabilidad es mínima. Muchas arcillas pueden absorber grandes cantidades de agua pero al secarse generalmente se contraen y se agrietan. Estas características hacen a muchas arcillas menos apropiadas que otros suelos para material de cubierta. Las grietas que generalmente aparecen permiten la infiltración de agua y el escape de gases así como la entrada y salida de insectos y ratas.

Las arcillas, sin embargo, pueden ser utilizadas para ciertas aplicaciones especiales en un relleno sanitario. Si se desea construir un revestimiento o cubierta impermeable para controlar lixiviado y venteo de gases, muchas arcillas pueden ser compactadas a una humedad óptima. Una vez colocadas, generalmente es necesario mantenerlas húmedas para que no se agrieten.

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

Muchos suelos clasificados como arena (tamaño de grano en el intervalo de 4.0 a 0.05 mm) contienen cantidades pequeñas de limo arcilla y frecuentemente pueden contener material del tamaño de la grava.

Una arena bien graduada que contenga menos de 3% de partículas finas generalmente tiene buenas características de compactación. Un incremento de partículas finas, en partículas de limo, generalmente mejora la densidad y permite una mejor compactación.

Una arena pobremente graduada es difícil de compactar, a menos que contenga cantidades abundantes de partículas finas. La permeabilidad de suelos arenosos siempre es alta, aún si están bien compactados, y por lo tanto no son apropiados para controlar la infiltración del agua, el venteo de gases ni el control de moscas.

El suelo arenoso puede ser trabajado fácilmente, aún a temperaturas bajo el punto de congelación, mientras que un suelo con alta capacidad de retención de agua se congela.

Prácticamente los únicos suelos que deben ser evitados como material de cubierta son la turba y los suelos con alto contenido de materia orgánica. La turba es un suelo generalmente café o negro y compuesto en gran parte por materia de plantas parcialmente descompuestas, contiene gran cantidad de huecos y su contenido de agua puede ser de 100 a 400% de su peso seco, es virtualmente imposible de compactar ya sea que esté seco o húmedo. Los suelos con alto contenido de materia orgánica (20% mínimo) son generalmente muy oscuros y contienen fragmentos de materia orgánica en descomposición, son muy difíciles de compactar, son normalmente pegajosos y su contenido de humedad puede provocar una expansión en el material, así como su falta de humedad provoca contracciones en el mismo formando agrietamientos.

En la tabla 4.5 se presenta la clasificación de suelos para su uso como material para cubierta.

Si se excava en el propio sitio, los costos de acarreo de la tierra de cobertura son mínimos. Se recomienda extraerla de los taludes del terreno, conformando terrazas, para evitar la erosión; además, resulta aconsejable ampliar la capacidad del sitio y por ende su vida útil, o también aprovechar la tierra sobrante de las excavaciones de las nuevas construcciones en el área urbana. Esto se consigue haciendo público el recibimiento de tierra en el relleno y/o el contacto directo con el constructor; el costo de transporte puede estar a cargo de este último.

En los periodos secos, se recomienda extraer y acumular la tierra para cobertura utilizándose un tractor o retroexcavadora; de esta forma, se obtienen mejores rendimientos. La tierra puede ser acumulada en otra celda terminada y de allí descender a la celda en conclusión.

En época de lluvia ocurrirá a la inversa, pues el material acumulado se va perdiendo por arrastre y se torna más pesado debido a la humedad, lo que implica

TABLA 4.5

## CUADRO DE PROPIEDADES Y USOS

NOMBRE TIPOS DE LOS GRUPOS DE SUELOS	SIMBOLOS DEL GRUPO	PROPIEDADES IMPORTANTES		
		PERMEABILIDAD DEL SUELO COMPACTADO	COMPRESIBILIDAD COMPACTADO Y SATURADO	TRABAJABILIDAD COMO MATERIAL DE CUBIERTA
Graduadas; mezclas de grava y arena; pocos o ninguno	G b	Permeable	Despreciable	Excelente
Graduadas; mezclas de grava y arena; pocos o ninguno	G m	Muy permeable	Despreciable	Bueno
Mezclas mal graduadas de grava, arena y limo	G L	Semipermeable o permeable	Despreciable	Bueno
Lozas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla	G B	Impermeable	Muy baja	Bueno
Graduadas, arenas gravosas, pocos o ningunos finos	A b	Permeable	Despreciable	Excelente
Graduadas, arenas gravosas, pocos o ningunos finos	A m	Permeable	Muy baja	Regular
Mezclas de arena y limo mal graduadas	A L	Semipermeable a impermeable	Baja	Regular
Lozas, mezcla de arena y arcilla mal graduadas	A B	Impermeable	baja	Buena
Arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas de baja plasticidad	L P	Semi permeable a impermeable	Media	Regular
Orgánicas de plasticidad baja a mediana, arcillas graduadas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres	B p	Impermeable	Media	Buena o regular
Arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	O p	Semipermeable a impermeable	Media	Regular
Suelos arenosos finos o limosos micáceos o tipos elásticos	L c	Semipermeable a impermeable	Alta	Mala
Orgánicas de alta plasticidad muy compresible; arcillosas	B c	Impermeable	Alta	Mala
Orgánicas de plasticidad media o alta	O c	Impermeable	Alta	Mala
Suelos altamente orgánicos en proceso de descompactación	T			

mayores dificultades para su transporte. Por lo tanto, en estas condiciones resulta aconsejable extraer la cantidad de tierra que sea necesaria para efectuar el cubrimiento de la celda.

Cuando se trabaja con el método de trinchera, el material de cobertura está prácticamente asegurado; se recomienda acumularlo a un lado de la zanja en elaboración o sobre una ya terminada.

#### **4.5 Movimiento de tierras**

Consiste en llevar a cabo los pasos necesarios para preparar el sitio en donde se realizará el Relleno Sanitario, incluyendo la excavación según el método utilizado, así como contar con la cantidad suficiente de material de cubierta al menor costo posible.

Siempre se deberá buscar el lugar más cercano al sitio del relleno sanitario para conseguir el material de cubierta.

Esta movimiento de tierras debe hacerse por etapas, de acuerdo con el avance de la obra, evitando así la erosión del terreno.

A continuación se describen los pasos a seguir para el movimiento de tierras.

##### **4.5.1 Desmonte y despálme**

Desmonte y despálme es la ejecución de las operaciones siguientes:

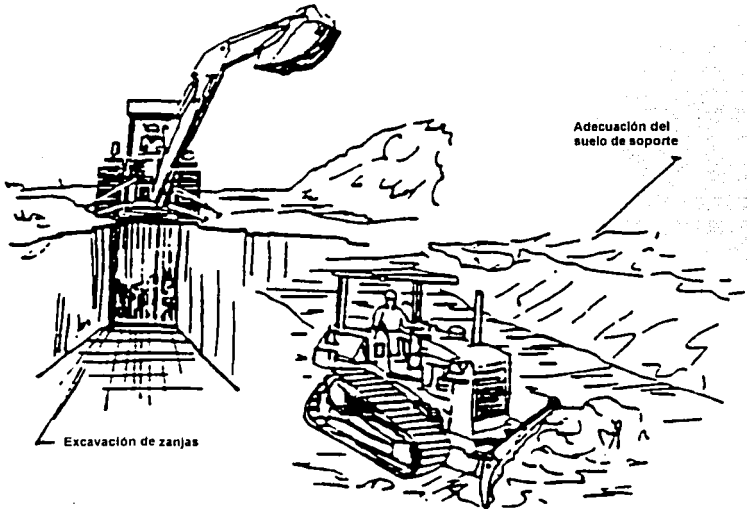
- a) Corte de árboles y arbustos.
- b) Quitar maleza, hierba, zacate o residuos de las siembras.
- c) Sacar los troncos o tacones con todo y raíces o cortando éstas.
- d) Retirar y estibar el producto del desmonte al lugar que se indique, así como quemar lo que no se pueda utilizar.

El trabajo de desmonte generalmente se efectúa con tractor y a mano en algunos casos, pues cuando se trata de monte grueso hay necesidad de cortar los árboles con hacha y cuando se trata de monte tipo medio se utiliza con ventaja el tractor. Figura 4.4.

Figura 4.4



*Limpieza y desmonte del terreno*



*Movimiento de tierras para la preparación del sitio*

Para fines de desmonte se consideran los siguientes tipos de vegetación:

- a) Manglar.
- b) Selva o bosque.

- c) Monte de regiones áridas o semiáridas.
- d) Monte de regiones desérticas, zonas cultivadas o de pastizales.

La vegetación tipo manglar es la constituida predominantemente por mangles y demás espacios de raíces aéreas típicas de los esteros y pantanos de los climas cálidos.

La vegetación tipo selva es la constituida por árboles típicos de las zonas bajas y cálidas.

Son ejemplos de vegetación selvática las palmeras, amates, ceibas, mangos y cedros. La vegetación tipo bosque es la predominante por árboles típicos de las zonas altas de clima templado o frío, como por ejemplo: pinos, madroños, encinos y eucaliptos.

La vegetación de monte de regiones áridas o semiáridas es la constituida por árboles de poca altura y como ejemplo están los mezquites, pirules, huizaches y espinos.

La vegetación de monte de regiones desérticas, zonas cultivadas o de pastizales se caracteriza por estar constituida por cacláceas, vegetación de sembradio o zacatales.

El desmonte se mide tomando como unidad la Hectárea y el resultado se considera con un decimal.

### Densidad de Desmonte

La vegetación de cualquier tipo de desmonte puede ser más o menos tupida, por ello, debe tomarse en cuenta su densidad para la evaluación y pago de este trabajo.

Especificaciones para desmonte con densidad 100%.

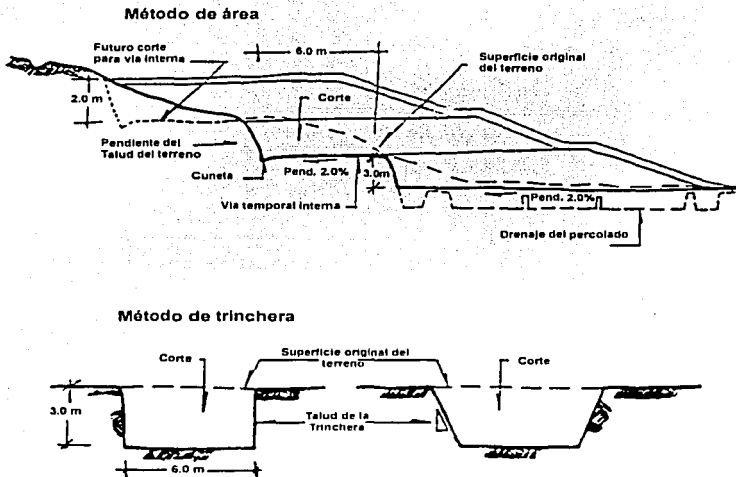
T I P O.	D E N S I D A D.
A (manglar)	Siempre 100%
B (Selva o Bosque)	100 m <sup>2</sup> /Ha
C (Semi-árido)	50 m <sup>2</sup> /Ha
D (Desértico)	Siempre 100%

## 4.5.2 Terracerías

### Cortes

Son las excavaciones o remociones de los materiales producto de las mismas, realizadas en el terreno natural, en ampliación o abatimiento de taludes, en derrumbes y en rebajes de terraplenes. Figura 4.5.

Figura 4.5



### Cortes de taludes y del suelo de soporte

Los materiales excavados de acuerdo con la dificultad que presenten para su extracción y carga se clasifican en:

- 1- Material A.
- 2- Material B.
- 3- Material C.

### **Material "A"**

Es el blando o suelto, que puede ser eficientemente excavado con escrepa remolcada con tractor de orugas de 90 - 110 HP de potencia en la barra sin auxilio de arados o tractores empujadores, aunque ambos se utilicen para obtener mayores rendimientos. Los materiales clasificables como material "A" son los suelos poco o nada cementados con partículas menores de 7.5 cm. de diámetro.

### **Material "B"**

Es el que por la dificultad de extracción y carga sólo puede ser excavado eficientemente por tractor de orugas con cuchilla de inclinación variable de 140 - 160 HP en la barra o con pala mecánica de capacidad mínima de un metro cúbico sin el uso de explosivos, aunque por conveniencia se utilicen para aumentar el rendimiento, o bien que pueda ser aflojado con arado de 6 Ton. remolcado por tractor de orugas de las características mencionadas. Además, se consideran como material "B" a las piedras sueltas menores de medio metro cúbico y mayores de 20 centímetros de lado. Los materiales comúnmente clasificados como material "B" son las rocas muy alteradas, conglomerados mediante cementantes, areniscas blandas y tepetates.

### **Material "C"**

Es el que por su dificultad de extracción sólo puede ser excavado mediante el empleo de explosivos de detonación rápida; también se consideran como material "C" las piedras sueltas que aisladamente sumen más de 1 metro cúbico. Entre los materiales clasificables como material "C" están las rocas basálticas, las areniscas y los conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos y andesitas sanas.

En la clasificación de materiales se observan las siguientes disposiciones:

Para clasificar un material se tomará en cuenta la dificultad que haya presentado en su extracción y carga, ajustándolo al que corresponda de los materiales "A", "B" ó "C". Siempre se mencionarán los tres tipos de materiales para determinar claramente de cuál se trata en la siguiente forma: 20-30-50 que quiere decir 20% de material "A", 30% de material "B" y 50% de material "C". Es decir que cada material se clasificará por separado y en proporción a su volumen se clasificará el total.

Cuando no sea posible hacer la clasificación de cada uno de los materiales encontrados, se fijará a todo el volumen una clasificación representativa de la dificultad de extracción y carga considerando siempre los tres materiales aunque para alguno de ellos corresponda 00.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Cuando el volumen por clasificar esté formado por material "C" alternado con otros de menor clasificación en proporción tal que el material "C" constituya por los menos el 75% del volumen total, el conjunto se considerará como material "C".

Las excavaciones en los cortes se ejecutarán procurando seguir un sistema de ataque que facilite el drenaje del corte.

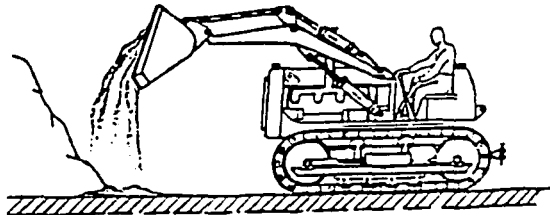
Al hacer las excavaciones, particularmente cuando se empleen explosivos, se evitará hasta donde sea posible aflojar el material en los taludes.

La medición de los volúmenes se hará tomando como unidad al metro cúbico. El resultado se considerará redondeando a la unidad. En ningún caso se considerará abundamiento.

#### 4.5.3 Préstamos

Son excavaciones que se ejecutan en los lugares fijados en el proyecto a fin de obtener el material de cubierta. Figura 4.6.

Figura 4.6



*Préstamos*

Para iniciar el ataque en un préstamo, previamente se despalmará la superficie por atacar, desalojando la capa superficial del terreno natural que por sus características no sea adecuada para ser usada como material de cubierta. Los despalmes solo se ejecutarán en material "A". El despalme se iniciará después de que se haya efectuado el seccionamiento de la superficie probable de ataque, y el material producto del despalme se colocará en el lugar que se indique. Se procurará que durante el ataque no se alteren ni modifiquen las referencias y

bancos del nivel del seccionamiento. Una vez despalmados los préstamos se seleccionarán nuevamente antes de ser atacados dejando las referencias y los bancos de nivel a distancias tales del lugar de ataque y de trabajo que no vayan a ser destruidos o alterados.

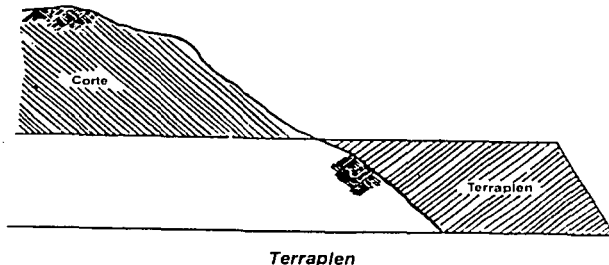
La ubicación y las dimensiones de los préstamos serán fijados en cada caso en el proyecto. Los préstamos se excavarán únicamente hasta la profundidad fijada en el proyecto; siempre la excavación será en material apropiado y en la forma más regular posible a fin de facilitar su medición.

La medición del material producto del despalme del sitio de préstamo se hará tomando como unidad el metro cúbico y se empleará el sistema del promedio de las áreas extremas y su resultado se redondeará a la unidad. Para los materiales de préstamo se tomará como unidad el metro cúbico para cada uno de los materiales según su clasificación, seccionando la excavación misma y usando el método del promedio de las áreas extremas en distancias de 20 metros o menores si la configuración del terreno así lo exige, el resultado se redondeará a la unidad para cada material. La excavación de los préstamos se pagará a los precios fijados previamente para el metro cúbico de materiales "A", "B" ó "C" y en este precio se incluye, extracción, remoción, carga, acarreo libre, colocación del material en el terraplén, recortante de cuñas y afinamiento del terraplén.

### Terraplenes

Terraplén en un macizo de tierra, construido sobre el terreno con material adecuado, producto de un corte o de un préstamo, y que está comprendido entre el terreno de desplante y la sub-rasante. Figura 4.7.

Figura 4.7



## Acarreos

Transporte del material producto de las excavaciones de cortes adicionales bajo la sub-rasante, aplicación o abatimiento de taludes, rebaje de terraplenes, escalones o despalmes, préstamos, derrumbes o canales para construir un terraplén o efectuar un desperdicio.

Todos los materiales deben tener un acarreo libre de 20 metros a partir del cual su transporte se considerará como sobreacarreo.

Los sobreacarreos de los materiales se consideran como sigue:

- a) Hasta 5 estaciones de veinte metros, es decir hasta 100 metros se contará desde el origen y se paga por  $m^3$  -estación al precio fijado.
- b) Hasta 5 hectómetros, es decir hasta 500 metros contados a partir del origen y se paga por  $m^3$  -Hm.
- c) A más de 5 hectómetros, es decir, de 500 metros en adelante, contados a partir del origen se paga por  $m^3$  -Km.

Los sobreacarreos de los materiales se cuantifican multiplicando el volumen de los materiales acarreados por la distancia, y tomando como unidad el metro cúbico-estación, el metro cúbico-hectómetro o el metro cúbico-kilómetro.

### 4.5.4 Curva Masa

El estudio de curva masa se basa en la cubicación de las secciones de construcción que se levantan a lo largo del relleno y generalmente a una equidistancia de 25 metros, aunque en algunos casos esta distancia se disminuye con el objeto de poder obtener las irregularidades del terreno que tienen demasiada influencia en los volúmenes. Estas secciones se levantan con nivel de mano y a cada lado del eje del relleno, tratando de cubrir el área suficiente de manera que queden incluidos los cerros para poder proyectar, con las secciones tipo, las que correspondan a cortes y las que correspondan a terraplén. El dibujo de las secciones se hará en papel milimétrico a escala 1:100 y en cada una de ellas se señalará el espesor y a sea de corte o de terraplén.

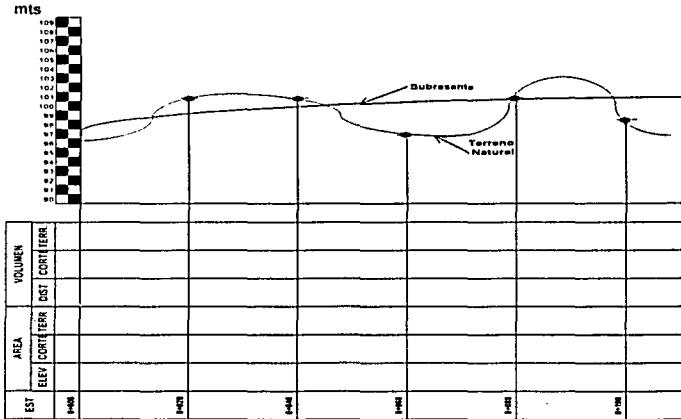
Se determinarán las áreas de corte o de terraplén de cada sección y de preferencia esta determinación se hará por medio de un planímetro y se utilizará el sistema de áreas medias, es decir, suma de las áreas por la mitad de la distancia entre cada dos secciones. Al hacer la medición de las secciones es muy conveniente marcar en el caso de terraplenes las secciones de despalmes, cuerpo

de terraplén, y sub-rasante, y en el caso de cortes marcar el espesor de despalme y si fuera posible marcar las zonas de materiales "B" ó "C" por separado, porque partiendo de estos datos se fijará el procedimiento de construcción, ya sea que se trate de terraplenes compactados o acomodados con material procedente de corte y también para determinar ó separar en mejor forma los abundamientos.

También existen tablas que se han calculado para diferentes inclinaciones del terreno, donde, con los valores de los espesores, se obtienen los volúmenes por estación; este método es menos aproximado que el anterior pero es muy utilizado para tener una idea de los volúmenes para formar la curva masa y los perfiles de construcción que necesariamente presenta o entrega la Brigada.

La determinación de los acarrees del material de excavación, incluyendo en ello su valorización y sentido se logra por medio de la curva masa (figura 4.8) Este es un método gráfico que permite determinar la distribución económica de los volúmenes excavados y calcular el costo necesario para llevar a cabo dicha distribución. Este método no puede ser aplicable, o por lo menos no es de tanta utilidad, cuando el nivel de despalte está obligado a proyectarse en determinada forma por circunstancias especiales, tales como: terrenos planos en que su superficie natural se aproxima mucho al nivel de despalte y terrenos en los que la rasante deba tener cierta altura para quedar a salvo de inundaciones o de la humedad.

Figura 4.8



Curva masa

La curva masa se construye uniendo los puntos que resultan tomando como abcisas las mismas distancias del perfil de construcción, y como ordenadas cantidades proporcionales a la suma algebraica de los volúmenes de corte considerados como positivos y los de terraplenes como negativos, desde la estación de origen a la estación considerada.

Previamente al dibujo de la curva masa deberá hacerse un registro con las columnas indicadas en la tabla 4.6.

**Columna 1- Estación.**

Se usa para indicar el número de punto ó estación a que se refiere el cálculo.

**Columna 2- Elevación del terreno.**

Se usa para indicar la elevación del terreno natural respecto de un banco de nivel fijo.

**Columna 3- Elevación de la rasante.**

Se usa para indicar la elevación de la rasante de proyecto respecto al mismo banco de nivel fijo.

**Columna 4- Area en corte.**

Se usa para indicar el área de corte respecto al terreno natural y el proyecto de la rasante.

**Columna 5- Area en terraplén.**

Se usa para indicar el área de relleno ó terraplén respecto al nivel de terreno natural y el proyecto de la rasante.

**Columna 6- Suma de áreas en corte.**

Se usa para indicar la suma total de las áreas de corte.

**Columna 7- Suma de áreas en terraplén.**

Se usa para indicar la suma total de las áreas de terraplén.

**Columna 8- Semidistancia.**

Se usa para indicar la distancia promedio de corte ó terraplén.

**Columna 9- Volumen en corte.**

Es el resultado de multiplicar la suma de áreas en corte por la semidistancia.

**Columna 10- Volumen en terraplén.**

Es el resultado de multiplicar la suma de áreas en terraplén por la semidistancia.

**Columna 11- Volumen de residuos sólidos.**

Es el volumen de residuos sólidos a disponer.

**Columna 12- Coeficiente de abundamiento.**

Se usa para indicar el coeficiente de abundamiento según el material de que se trate (en general 30%).

**Columna 13- Volumen de corte abudado.**

Es el resultado de multiplicar el volumen de corte por el coeficiente de abundamiento.

**Columna 14- Volumen de terraplén.**

Se usa para indicar el volumen de terraplén necesario.

**Columna 15- Suma de volúmenes de cortes abudados.**

Es la suma total de todos los cortes ya multiplicados por su abundamiento.

**Columna 16- Suma de volúmenes de terraplén.**

Es la suma total de todos los terraplenes necesarios.

**Columna 17- Ordenadas.**

Es la elevación de cada punto en un sistema de ejes cartesianos.

TABLA 4.6

REGISTRO DE DATOS PARA CURVA MASA

Estación	Elevación	Elevación Rasante	Área En Corte	Área En Terraplén	Suma De Áreas En Corte	Suma De Áreas En Terraplén	Semi-Distancia	Volumen En Corte	Volumen En Terraplén	Volumen En Residuos Sólidos	Coefficiente Abundamiento	Volumen De Corte Abundado	Volumen De Terraplén	Suma De Volúmenes De Cortes Abundados	Suma De Volúmenes De Terraplén	Ordenadas
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

## CAPITULO 5

### IMPERMEABILIZACION, CONTROL DE LIQUIDOS Y CAPTACION DE BIOGAS.

El impacto ambiental más serio, es la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, por el vertimiento de las basuras a los ríos y cañadas, por el líquido percolado de los botaderos a cielo abierto, respectivamente.

En los botaderos a cielo abierto es evidente la influencia negativa causada por los desechos, debido a los incendios y humos que reducen la visibilidad y son causa de irritaciones nasales y de la vista, así como de incremento en las afecciones pulmonares, además de las molestias originales por los malos olores. Figura 5.1.

Figura 5.1



*Abandono de los desechos sólidos a cielo abierto*



## **5.1 Impermeabilización**

El agua subterránea es la fuente más valiosa de abastecimiento con que cuenta un país, por lo que es necesario evitar alterar sus características físicas, químicas y biológicas.

Si el espesor de suelo entre la base del relleno y las aguas subterráneas no logra atenuar el alto poder contaminante del lixiviado, éste contaminará las aguas subterráneas esto lo podemos saber colocando pozos de monitoreo que más adelante se comentan.

Debido a lo anterior es necesario proteger las aguas subterráneas. Su protección se puede efectuar por dos métodos: naturales y artificiales.

### **5.1.1 Método Natural**

Este consiste en aprovechar las propiedades físico-químicas del suelo donde se ubica el relleno sin colocarle nada, y evitar la contaminación de las aguas subterráneas por el lixiviado.

Los sitios con alto contenido de arcillas (entre 0.45 y 1.50 m. de espesor) y/o con capas impermeables a poca profundidad son mejores.

### **5.1.2 Método Artificial**

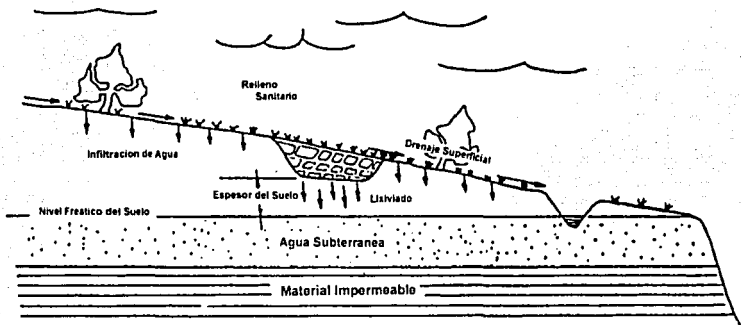
Consiste en colocar materiales naturales o artificiales con el fin de evitar en lo que más sea posible la entrada del lixiviado y su poder contaminante a las aguas subterráneas.

El material empleado es de arcillas compactadas (con 4-6 pasadas de un compactador) en la base del terreno con espesor de capa de 20 a 60 cm. , y con humedad óptima. Los materiales artificiales o sintéticos utilizados para la impermeabilización son el hule, polietileno y PVC (Cloruro de Polivinilo). Si se utilizan éstos, se debe supervisar que no existan dobleces (mala colocación) y/o perforaciones al colocarlos. Los materiales se asientan sobre una base de arena nivelada inferior y otra superior.

### 5.1.3 Cálculo de la Interfase o Espesor Mínimo para evitar riesgos de contaminación en las Aguas Subterráneas

En el suelo existen mecanismos de disminución o atenuación de contaminantes orgánicos del lixiviado que evitan que éstos, afecten las aguas subterráneas. Figura 5.2.

Figura 5.2



*Esquema del relleno sanitario, lixiviado y aguas subterráneas*

Si las características del suelo son adecuadas, a mayor espesor de suelo o interfase del suelo entre el nivel de desplante del relleno y las aguas subterráneas, se reducirá en gran medida el peligro de contaminación de estas últimas.

El mínimo espesor o interfase de suelo para la disminución de materia orgánica del lixiviado depende de la permeabilidad del suelo del sitio seleccionado, el gasto de infiltración, la velocidad de remoción de materia orgánica, precipitación pluvial anual, y su concentración inicial en el lixiviado.

El mínimo espesor de suelo para la disminución de contaminantes inorgánicos (cationes) depende de la concentración inicial de los mismos en el lixiviado, la capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC) y los gastos de infiltración.

Para el cálculo del espesor mínimo de suelo o interfase entre la base del relleno sanitario y el nivel de las aguas subterráneas se requiere:

- a) De la estación meteorológica más próxima o de la SARH.
  - La infiltración del lugar, en  $m^3$  /año.
  - La profundidad del nivel freático, en metros.
- b) De los estudios geofísicos practicados en el sitio:
  - La porosidad del suelo ( $n_p$ ) en por ciento.
- c) De tablas, la porosidad, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo en miliequivalentes/litro o miliequivalentes/100 gr. y la concentración de materia orgánica.
- d) De datos de estudios realizados en laboratorio:
  - Carga catiónica del lixiviado.
  - Carga orgánica.

Cabe mencionar que existen tablas que proporciona la interfase mínima necesaria entre la base del relleno y el nivel de las aguas freáticas para la disminución y/o eliminación de la carga catiónica del lixiviado, dependiendo de la capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC) y la infiltración anual en el sitio del relleno sanitario.

Si la interfase existente es suficiente para la eliminación de la carga catiónica, el lixiviado se dejará pasar libremente a través del suelo pues no existirán problemas de contaminación de las aguas subterráneas.

## 5.2 Captación de aguas de escurrimiento

Ahora bien, el agua llega al relleno sanitario:

- a) Por precipitación directa.
- b) Por escurrimiento del agua del terreno adyacente.
- c) Por crecientes de ríos o arroyos.
- d) Por filtración a través del subsuelo del relleno.

Así pues, el objetivo que se debe perseguir, es conseguir en primer lugar, reducir la entrada del agua de cualquiera de las fuentes mencionadas y, en segundo lugar, desalojar rápidamente el agua que pueda llegar al relleno.

Para que un relleno tenga buen drenaje debe evitarse que:

- a) El agua circule en cantidades excesivas por el mismo, destruyendo el material de cubierta que sirve para impermeabilizar y originando la formación de charcos.
- b) Los cortes se saturen de agua con peligro de derrumbes, deslizándose éstos y en algunos casos deslizándose el camino.
- c) El agua de arroyos y hondonadas sea remansada por los terraplenes con el peligro de deslazarlos o destruirlos.
- d) El agua que se filtre reblandezca la capa de tierra y se formen baches o charcos, etc.

Como se ve, el drenaje adecuado es una de las fases más importante en un relleno por lo que debe procurarse por todos los medios el mejor drenaje que sea posible.

### **5.2.1 Drenaje superficial**

En el drenaje superficial se estudiará la manera de reducir al mínimo el agua que afluya, lo cual se realiza mediante la captación de las aguas que puedan llegar al relleno o a sus inmediaciones y la defensa de las aguas corrientes o almacenadas que puedan llegar a afectarlo.

Las obras de drenaje superficial llamadas también de drenaje longitudinal, comprenden las zanjas o vados que se construyen en los límites del relleno y que tienen como objetivo la captación del escurrimiento de aguas arriba.

Como el área de las porciones de terreno cuya agua va a dar a las zanjas es relativamente pequeña, ordinariamente se proyectan éstas para que den capacidad a fuertes aguaceros de 10 a 20 minutos de duración. Generalmente se considera suficientemente seguro proyectar las zanjas para que tomen del 70 al 80% de la precipitación pluvial, sin embargo en algunos casos puede llegarse al 100%. En suelos arenosos el escurrimiento varía considerablemente.

En los casos en que se conozca la altura de lluvia local conviene estimar los coeficientes de escurrimiento y combinar estos datos con la pendiente y forma de la cuenca para definir el área hidráulica necesaria en forma análoga, como se hace para las alcantarillas, aplicando la fórmula de Burkle Ziegler.

Siendo tan inciertos los factores que intervienen en la determinación del área hidráulica ordinariamente la forma y dimensiones de las zanjas se determinan de acuerdo con las condiciones pluviales del lugar y de preferencia por comparación con lugares similares.

La práctica usual en nuestro país es hacer las zanjas en forma de "V" con un tirante de 30 a 60 cm, talud 1:3, en esta forma el fondo de la cuneta queda a unos 40 ó 45 cm abajo de la sub-rasante y lleva la misma pendiente del terreno. Se ha seguido la costumbre de zampear con mortero de cemento las zanjas y en algunos casos este zampeado se hace con suelo cemento en proporción 1:8 y en casos muy especiales de concreto. El zampeado con mortero de cemento se considera de 30 cm de espesor con piedra de buena calidad y con un mortero con 65 kg de cemento por m<sup>3</sup>. La piedra debe ser bien acomodada y procurar que el mortero que se use sea manejable y penetre por todos los espacios que dejan libres las piedras y al final se le da un espesor de 4 a 5 cm en la parte superior.

Una zanja de las dimensiones indicadas y zampeada debe proporcionar buenos resultados en longitudes de 300 a 600 m.

Los diferentes materiales se deslavan a las siguientes velocidades:

Arena.	de 0.60 a 0.90 m/seg.
Limo.	de 0.60 a 1.10 m/seg.
Grava.	de 1.50 a 1.80 m/seg.

Las aguas captadas en las zanjas serán encauzadas a un colector. Este colector puede ser un drenaje natural (río, arroyo, etc.) ó un dren artificial como una línea de drenaje pluvial entubada.

Dicho colector se diseñará de tal manera que pueda captar una cantidad de agua determinada por el escurrimiento probable de agua de lluvia.

### 5.2.2 Fórmulas de escurrimiento

Las fórmulas de escurrimiento más usuales son:

Burkle Ziegler.

Se emplea para calcular el gasto máximo producido, debido a un aguacero intenso en un área tributaria pequeña (menos de 250 hectáreas).

$$Q_t = 0.022 (C) (h) \sqrt[4]{st/n}$$

donde:

- $Q_t$  es el gasto aportado por cada hectárea tributaria, en  $m^3$  /seg.  
 $h$  es la precipitación correspondiente al aguacero más intenso (de 10 minutos de duración total), en mm/h.  
 $st$  es la pendiente del terreno, en m/km.  
 $nt$  es el número de hectáreas tributarias.

El coeficiente "C" depende de la clase de terreno que forma la cuenca o área tributaria y tiene los siguientes valores:

- 0.750 para calles pavimentadas y distritos comerciales.  
0.625 para calles ordinarias de la ciudad.  
0.300 para poblaciones con parques y calles.  
0.250 para terrenos de cultivo.

*(Los primeros tres se nombran como referencia).*

Fórmula de Dickens.

Se emplea para calcular el gasto máximo producido, debido a una lluvia de 24 horas de duración en un área tributaria grande o sea de 25 a 2500 ha. dicha fórmula es:

$$Q_a = 0.01283 (C) \sqrt[3]{A_t^3}$$

donde:

- $Q_a$  es el gasto aportado por toda el área en  $m^3$  /seg.  
 $A_t$  es el área tributaria, en  $km^2$ .

El coeficiente "C" depende de la clase de terreno y de la altura total de lluvia en 24 horas y tiene los valores indicados en la tabla 5.1.

Cuando se proyecta un drenaje pluvial normalmente se hace por el método Racional Americano, del que se obtiene directamente es el Gasto aportado y por consiguiente hay que proceder a deducir cual deberá ser el gasto para el cálculo de pendiente, forma, área hidráulica, etc.

TABLA 5.1

## VALORES DEL COEFICIENTE "C" DE LA FORMULA DE DICKEN

Clase de terreno	Para precipitaciones de 10 cm. en 24 horas	Para precipitaciones de 15 cm. en 24 horas
Terreno plano	200	300
Lomerío suave	250	325
Mucho lomerío	300	350

### 5.2.3 Cálculo de la sección hidráulica

Para calcular la sección hidráulica del drenaje pluvial, se usa la fórmula de Manning, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$Q_g = A_T V_e$$

donde:

- $Q_g$  es el gasto, en  $m^3$  /seg.
- $A_T$  es el área transversal, en  $m^2$
- $V_e$  es la velocidad de escurrimiento.  
(0.60 a 3.00) en m/seg.

$$V_e = (1/n_a) R^{2/3} S^{1/2}$$

$$R = (A_T / P_m)$$

donde:

- $n_a$  es el coeficiente de rugosidad de Manning, adimensional.
- $R$  es el radio hidráulico, en m.
- $S$  es la pendiente, en decimales.
- $P_m$  es el perímetro mojado, en m.

### 5.3 Captación de Biogás

Un relleno sanitario no es otra cosa que un digestor anaeróbico (dentro de el no hay aire y oxígeno para la degradación) en el que, debido a la descomposición natural o putrefacción de los desechos sólidos, no sólo se producen líquidos, sino también gases y otros compuestos.

La descomposición natural o putrefacción de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio, ocurre en dos etapas: aerobia y anaerobia que a continuación se definen.

La aerobia es la etapa en la que el oxígeno está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados, siendo rápidamente consumido.



La anaerobia, en cambio, es la que predomina en el relleno sanitario y produce cantidades apreciables de metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), así como trazas de gases de olor repugnante como ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) entre otros.

El gas metano reviste el mayor interés porque, a pesar de ser inodoro, es inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15% en volumen; los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno; aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de la cubierta para salir, pudiendo originar altas concentraciones de metano con el consiguiente peligro de explosión en las áreas del relleno. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo un adecuado control de la generación y migración de estos gases.

Este control se puede lograr, construyendo un sistema de drenaje vertical en piedra, colocado en diferentes puntos del relleno sanitario, para que éstos sean evacuados a la atmósfera. Como el gas metano es combustible, se puede quemar simplemente encendiendo fuego en la salida del drenaje, una vez concluido el relleno sanitario. También se puede aprovechar este gas como energía en el empleo de una pequeña cocina para calentar alimentos o como lámpara para iluminar el terreno. Es de anotar que la recuperación y aprovechamiento del gas con propósitos comerciales, sólo se recomienda para rellenos sanitarios que reciban más de 200 ton/día, y siempre que las condiciones locales así lo ameriten, es factible realizar un análisis de costo, el tiempo de generación del gas y la aprobación.

A medida que transcurre el tiempo, varía la composición de los gases en un relleno sanitario. La tabla 5.2 presenta el porcentaje de los gases en un relleno dependiendo del tiempo transcurrido desde que se finalizó la construcción de una celda.

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

### 5.3.1 Método permeable

Emplea zanjas de grava o ventilas llenas de grava entre las celdas por donde fluirán los gases; las zanjas deben de profundizar debajo de la base del relleno para asegurar la intercepción de todos los gases.

Las ventilas se colocan en los taludes laterales de las celdas (figura 5.3). Es importante que las zanjas o ventilas estén libres de vegetación o tierra. Las zanjas pueden tener un diámetro de 30 cm.

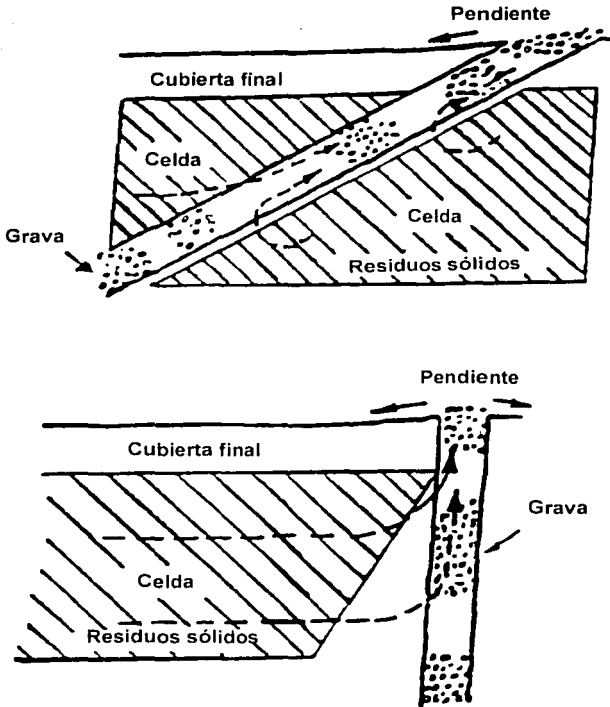
En otro método permeable se colocan tubos perforados de PVC ó concreto de 8 a 10 cm. de diámetro. Los ductos se colocan entre la última celda superior y el material de cubierta final. Figura 5.4.

TABLA 5.2

COMPOSICION DE LOS GASES PRODUCIDOS EN UN RELLENO SANITARIO EN  
FUNCION DEL TIEMPO DESDE QUE SE FINALIZO LA CONSTRUCCION DE LA  
CELDA

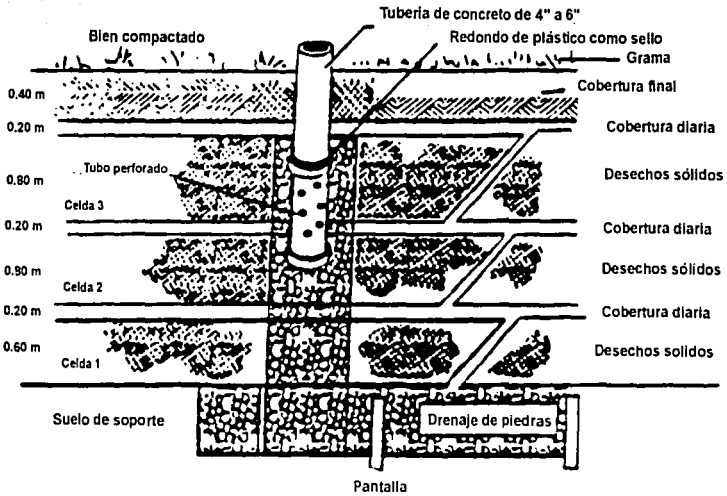
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE QUE SE CONSTRUYO LA CELDA EN MESES	COMPOSICIÓN EN PORCIENTO DE LOS GASES (%)		
	N2	CO2	CH4
0 - 3	5.2	88	5
3 - 6	3.8	76	21
6 - 12	0.4	65	29
12 - 18	1.1	52	40
18 - 24	0.4	53	47
24 - 30	0.2	52	48
30 - 36	1.3	46	51
42 - 48	0.4	51	48

Figura 5.3

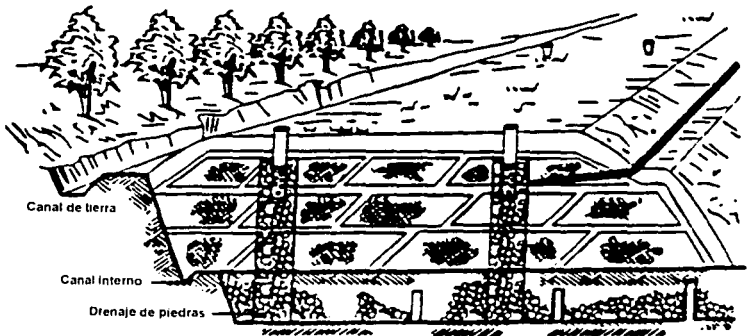


*Zanjas rellenas de grava para el control de gases para el Control de gases en un relleno sanitario*

Figura 5.4



Detalle constructivo del filtro para drenaje de gases

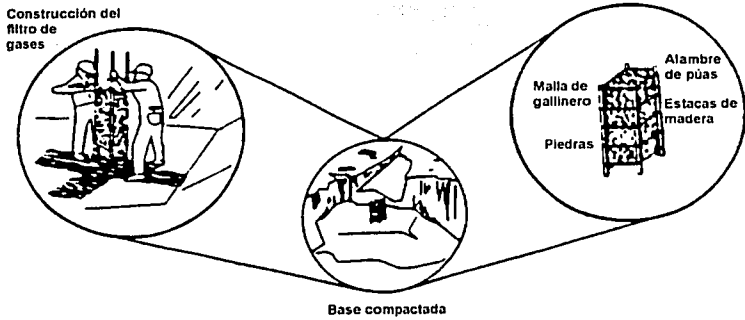


Distribución de las chimeneas en el relleno

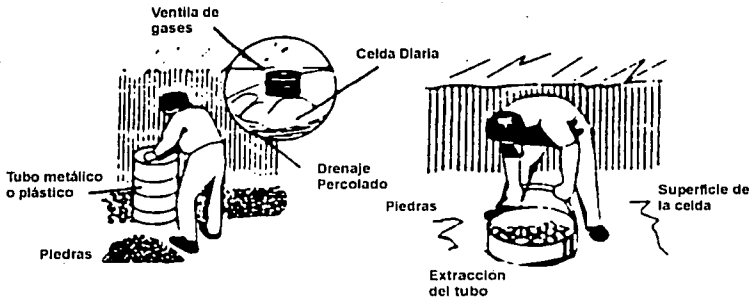
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El método más económico es la instalación de estructuras de malla rellenas de piedra. Las estructuras tienen longitud de lados de 0.60 a 1 m. se profundizan unos 30 cm. abajo del nivel o base del relleno y en la parte superior se cubren, dejando un tubo con forma de cuello de ganso. Figura 5.5.

Figura 5.5



*Construcción de la chimenea utilizando estacas de madera, alambre de púas o malla de gallinero y piedras*

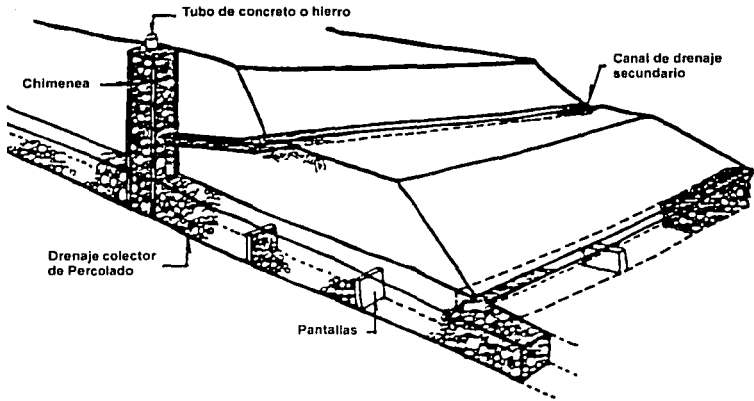


*Construcción de las chimeneas utilizando un tubo de plástico o metálico y piedras. El tubo se va extrayendo a medida que se eleva el relleno.*

**Método constructivo de drenaje de gases**

Se deben interconectar los drenes, a fin de lograr una mayor eficiencia en el drenaje de líquidos y gases en el relleno sanitario. Figura 5.6.

Figura 5.6



*Interconexión de los sistemas de drenaje (corte de terrazas)*

Para seleccionar el número de pozos de extracción o captación de gases en un relleno sanitario, en la tabla 5.3 se presenta el número de pozos requeridos en el área del relleno dependiendo de la cantidad de residuos sólidos a disponer diariamente, la profundidad promedio del relleno y el área del mismo. Por ejemplo, si la generación actual es de 100 ton/día y la profundidad media del relleno sanitario es de 9 m. se necesitan distribuir en el relleno 21 pozos de extracción o captadores de gases.

### 5.3.2 Método impermeable

El movimiento de los gases a través del suelo puede ser controlado con materiales impermeables, por ejemplo, una capa de arcilla compactada de un espesor de 0.45 a 1.5 m. Figura 5.7.

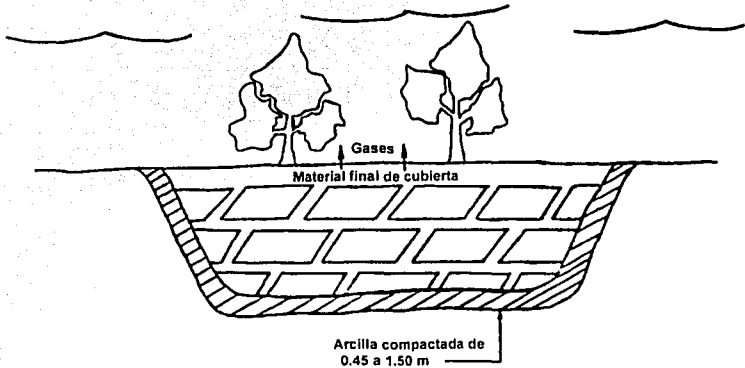
TABLA 5.3

NUMERO DE CAPTADORES DE BIOGAS, DEPENDIENDO DE LA CANTIDAD DE RESIDUOS A DISPONER DIARIAMENTE Y LA PROFUNDIDAD PROMEDIO DE RELLENO SANITARIO

RESIDUOS SÓLIDOS A DISPONER (Ton/día)	PROFUNDIDAD DEL RELLENO (m)	ÁREA DEL RELLENO (Ha)	CAPTADORES DE BIOGAS (numero)	RESIDUOS SÓLIDOS RECOLECTADOS (Ton / día)	PROFUNDIDAD DEL RELLENO (m)	ÁREA DEL RELLENO (Ha)	CAPTADORES DE BIOGAS (numero)
50	3	15.3	32	300	3	93.1	186
	6	7.7	16		6	46.5	93
	9	5.0	10		9	31.0	62
	12	3.8	8		12	23.2	47
	15	3.0	6		15	18.6	37
	18	2.5	5		18	15.5	31
	24	1.9	4		24	11.6	24
100	3	31.0	62	350	3	109.1	218
	6	15.5	31		6	54.5	109
	9	10.5	21		9	36.3	73
	12	7.7	16		12	27.2	55
	15	6.2	12		15	21.8	44
	18	5.1	10		18	18.4	36
	24	3.8	8		24	13.6	27
150	3	46.0	92	400	3	124.6	249
	6	23.0	46		6	62.3	125
	9	15.5	31		9	41.5	83
	12	11.6	24		12	31.1	62
	15	9.3	20		15	24.9	50
	18	7.7	16		18	20.7	41
	24	5.8	12		24	15.5	31
200	3	62.2	125	450	3	141.1	282
	6	31.1	62		6	70.5	141
	9	20.7	42		9	47.0	94
	12	15.5	31		12	35.2	71
	15	12.4	25		15	28.2	56
	18	10.3	21		18	23.5	47
	24	7.7	16		24	17.6	35
250	3	77.6	155	500	3	156.7	314
	6	38.8	77		6	78.3	157
	9	25.8	52		9	52.2	105
	12	19.4	39		12	39.1	78
	15	15.5	31		15	31.3	63
	18	12.9	26		18	26.1	52
	24	9.7	20		24	19.5	40

89

Figura 5.7



***Barrera de arcilla compactada para eliminar el movimiento de los gases a través del suelo***

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

#### **5.4 Captación de Lixiviados**

La descomposición o putrefacción natural de la basura, produce un líquido maloliente de color negro, conocido como lixiviado, muy parecido a las aguas residuales domésticas (aguas servidas), pero mucho más concentrado. Por otro lado, las aguas de lluvias que atraviesan las capas de basura, aumentan el volumen de la misma en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los desechos; de ahí la importancia de interceptar y desviar las aguas de escorrentía y pequeños hilos de agua antes del inicio de la operación, puesto que si el volumen de este líquido aumenta demasiado, no solo puede causar problemas en la operación del relleno, sino también contaminar las corrientes de agua y pozos de extracción de agua vecinos.

Si tenemos en cuenta que el área promedio a rellenar para disponer los desechos sólidos de estas pequeñas poblaciones no es muy grande, los volúmenes de lixiviado entonces serán también pequeños. Por lo tanto, se puede optar por su infiltración en el suelo dado que, con el paso del tiempo, la carga contaminante de los lixiviados disminuye una vez terminado el proceso de descomposición de los



residuos; además, el suelo actúa como filtro natural. No obstante, para proteger las aguas superficiales y subterráneas, se deben tomar las siguientes medidas:

- Verificar que las aguas subterráneas y superficiales cercanas no estén siendo utilizadas para el consumo humano o animal. En caso de que sean utilizadas se deberá tener mucho cuidado en la captación del lixiviado.
- Establecer una altura mínima de 2.0 m. (depende de las características del suelo) entre las partes inferiores del relleno y el nivel de agua subterráneas.
- Tratar de contar con un suelo arcilloso o en su defecto impermeabilizar la parte inferior mediante una capa de arcilla de 0.45 - 1.50 m.
- Interceptar, canalizar y desviar el escurrimiento superficial y los pequeños hilos de agua, a fin de reducir el volumen del líquido percolado, y de mantener en buenas condiciones la operación del relleno.
- Construir un sistema de drenaje para posibilitar la recolección del lixiviado y facilitar su posterior tratamiento en caso necesario (ya que este tipo de tratamiento es costoso y complicado).
- Cubrir con una capa de tierra final de unos 0.40 a 0.60 m. compactar y sembrar las áreas del relleno que hayan sido terminadas con pasto o grama para disminuir la infiltración de aguas de lluvias.

#### 5.4.1 Drenaje del lixiviado

El manejo del líquido percolado es uno de los mayores problemas que se presentan en un relleno sanitario. En algunos casos, a pesar de contar con los canales periféricos para interceptar y desviar las aguas de escorrentía, la lluvia que cae directamente sobre la superficie del relleno aumenta significativamente el volumen del lixiviado.

Por lo tanto, es de vital importancia construir un sistema de drenaje en el terreno que servirá de base al relleno sanitario antes del depósito de las basuras. En lo posible, este sistema debe retener el percolado en el interior del relleno, para dar lugar a un mayor tiempo de infiltración. Lo anterior tiene el propósito de evitar al máximo su tratamiento, el cual es demasiado complejo y económicamente poco factible para estas localidades, dados sus altos costos.

Para obtener una mayor eficiencia, se recomienda, construir también estos drenajes en todas las bases de los taludes interiores y exteriores de las terrazas o niveles que conforme al relleno sanitario, a fin de evitar su escurrimiento por la superficie de los taludes inferiores y además interconectarlos con el drenaje vertical de gases.

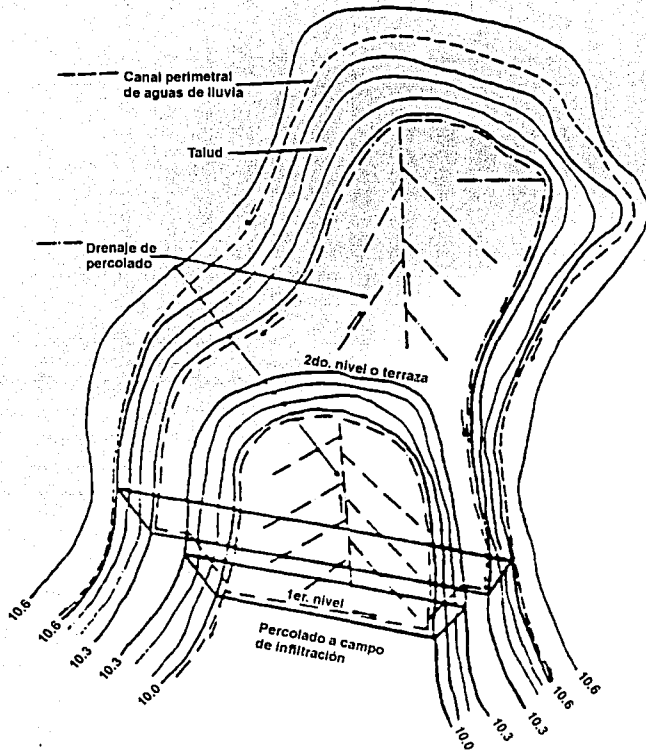
### **Construcción del sistema de drenaje**

El sistema de drenaje consiste en una red horizontal de zanjas en piedra, interrumpiendo el flujo continuo del percolado por medio de pantallas hechas de madera o incluso del mismo terreno.

Los drenes se pueden construir así:

- Se prepara el trazado por donde se ubicará el drenaje en el terreno, el cual puede ser similar al de un sistema de alcantarillado (p. ej. Espina de pescado). Figura 5.8.
- Se excavan las zanjas y se construyen las pantallas cada 5 a 10 m. con un ancho de 0.20 a 0.30 m. o simplemente se dejan intactos en la zanja estos pequeños espacios del suelo. Para que el percolado pueda escurrir sin rebosar las zanjas, se les dará en el fondo una pendiente del 2% y un borde libre de unos 0.30 m. entre la pantalla y el nivel de la superficie.
- Se llenan las zanjas con piedra de 4" ó 6", de manera que permitan más espacios libres, para evitar su rápida acumulación. Una vez que se tengan las zanjas llenas con piedra, se recomienda colocar sobre ellas un material que permita infiltrar los líquidos. Este efecto se consigue con ramas secas de helecho, pasto e incluso hierba, las que podrían reemplazarse al geotextil. Figura 5.9.
- Otra manera de construir este drenaje en la base del terreno, es utilizando las llantas desechadas de los automotores, con lo cual se aprovecha un material voluminoso de difícil manejo en el relleno, obteniendo una mayor capacidad de almacenamiento para el líquido percolado. Una vez enterradas las llantas en sentido vertical - una junto a la otra - se coloca encima una capa de 0.20 - 0.30 m. de piedra, y las ramas secas como en el caso anterior. Es de anotar que la zanja tendrá una conformación especial para recibir las llantas. Figura 5.9.

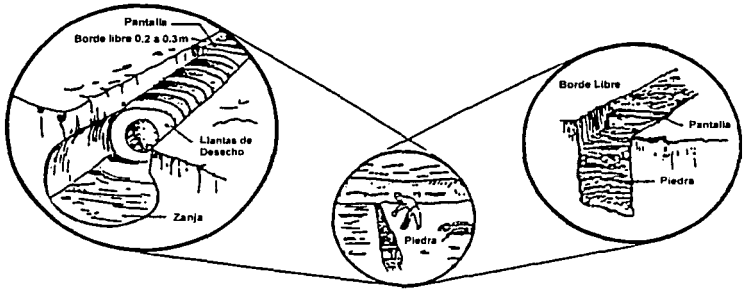
Figura 5.8



**Distribución del sistema de drenaje del percolado**

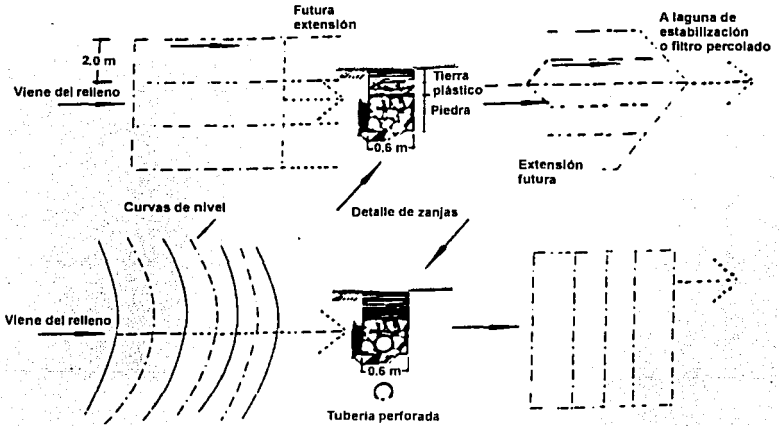
Cuando ocurran periodos de lluvias fuertes, y la cantidad de lixiviado sea tal que exceda la capacidad de los drenajes en el interior del relleno, se recomienda prolongar y orientar el sistema de drenaje de las mismas características y conformar por fuera del relleno un campo de infiltración que permita por lo menos almacenar este liquido durante estos dias de lluvia. Figura 5.10.

Figura 5.9



Detalle del drenaje del percolado

Figura 5.10



Sistema de infiltración en zanjas o trincheras

En este drenaje fuera del relleno pueden dejarse algunos tramos alternos entre pantalla y pantalla sin efectuar el llenado de piedra. Esto se hace con varios propósitos, entre ellos:

- Estimar el volumen del percolado que sale del relleno. (pozos de monitoreo).
- Verificar la cantidad de material sólido que se ha sedimentado, lo que nos puede indicar el momento de efectuar la limpieza del drenaje exterior del relleno.

Sin embargo, existen regiones que presentan condiciones extremas de precipitación pluvial (más de 3,000 mm/año), en las que la lluvia que cae directamente sobre el área rellena puede generar una gran cantidad de lixiviado difícil de manejar. En estos casos, de acuerdo con los cálculos, el volumen de lixiviado que se espera puede ser tal, que incluso el terreno disponible para el sistema de drenaje que permita su almacenamiento e infiltración sea insuficiente y/o que su construcción resulte económicamente poco factible.

Para manejar y controlar la producción de lixiviado en estos casos, se recomienda:

1. Sobredimensionar el sistema de drenaje a construir en el terreno.
2. Construir el relleno de manera que se tengan áreas estrechas de trabajo, es decir, es preferible superponer las celdas, apoyándolas sobre el talud del terreno o de las celdas ya terminadas; en otras palabras, el avance se hace más en altura que en área.
3. Introducir a las operaciones de rutina diaria, el cubrimiento de las celdas y áreas terminadas temporalmente, con material plástico, a fin de impedir la infiltración del agua de lluvias a través de las basuras. Mediante esta práctica se podrá reducir significativamente el volumen de lixiviado. Conviene recordar que la cantidad de material plástico que se requiere es poco, si se tiene en cuenta la poca extensión del relleno y el método de trabajo (cabe mencionar que es difícil llevar a la práctica esta operación por la adquisición del plástico).
4. Se puede utilizar el material plástico que ha sido desechado de los invernaderos de grandes cultivos.
5. Proceder a aplicar la cobertura final e inmediatamente sembrar grama sobre las áreas terminadas del relleno.

Generalmente, en las regiones donde la precipitación anual no exceda los 300 mm. y se cuente con un canal apropiado para interceptar y desviar las aguas de lluvia, no deberá presentar problemas significativos con el lixiviado que se

produce, el cual estará en función del tipo de residuos y de su capacidad de campo. Se recomienda, sin embargo, construir igualmente los drenajes en el suelo que se sirve de base al relleno y en las terrazas que lo conforman; no obstante, el tamaño de las zanjas será menor.

### **Tratamiento del lixiviado**

En caso de que el suelo no permita la infiltración o que el acuífero esté siendo usado como fuente de abastecimiento en una zona cercana, se requerirá tratar el lixiviado.

Frente a la alta concentración de partículas en el lixiviado, el tratamiento sólo a través de procesos químicos resulta costoso.

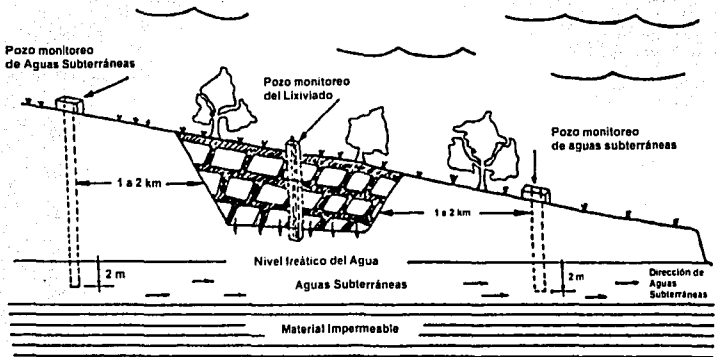
Dado que el lixiviado de los residuos sólidos municipales presenta características semejantes a las aguas residuales domésticas (con gran porcentaje de materia orgánica biodegradable de difícil desintegración), se deben realizar estudios de tratabilidad para aplicar los tratamientos biológicos con el fin de mejorar en lo posible la calidad de este líquido. Entre los procesos biológicos que pueden ser utilizados en el tratamiento del lixiviado, se tienen los filtros percoladores y las lagunas de estabilización.

#### **5.4.2 Pozos de monitoreo**

Para evaluar las características del lixiviado y sus posibles efectos en las aguas subterráneas se realiza un monitoreo de ambas. El monitoreo consiste en un programa que incluyen la toma de muestra, su análisis fisicoquímico y biológico en un laboratorio y la evaluación de los resultados obtenidos.

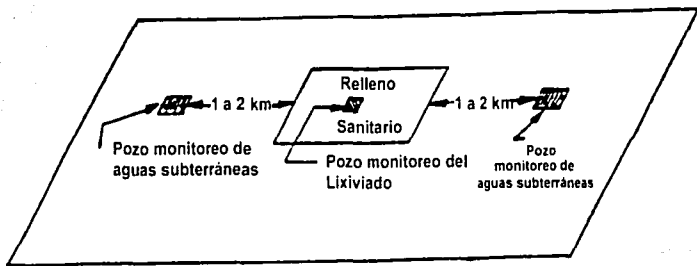
El sistema de monitoreo del lixiviado debe contar por lo menos con 3 pozos de muestreo, que se sitúan uno en la dirección del flujo de las aguas subterráneas antes de llegar al sitio del relleno sanitario, otro, en el relleno sanitario y el último, aguas abajo del sitio (figuras 5.11 y 5.12). El primer y el tercer pozo profundizarán 2 m. dentro del acuífero y el segundo en el nivel o base del relleno; se pueden construir de asbesto-cemento o plástico, de un diámetro de aproximadamente 40 cm. que permita la introducción de un bote de material resistente a la acidez, sujetos a una madera o varilla como se ilustra en la figura 5.13.

Figura 5.11



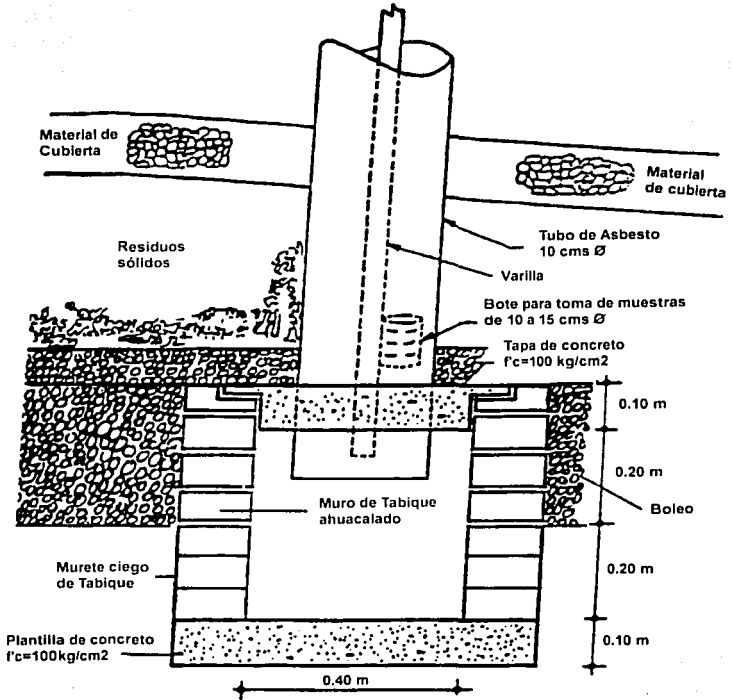
*Localización de pozos de monitoreo de aguas subterráneas y lixiviado en un relleno sanitario*

Figura 5.12



*Localización de los pozos de monitoreo en un relleno sanitario*

Figura 5.13



*Deposito para coleccionar muestras del lixiviado*

Los análisis recomendados del lixiviado y de las aguas subterráneas, se enlistan en la tabla 5.4.

Se recomienda que los análisis enlistados en la tabla 5.4 se efectúen por lo menos 2 veces al año y a medida que transcurra el tiempo y en función de los resultados que se vayan obteniendo, se reducirá el número de parámetros a únicamente los más importantes, que son:



TABLA 5.4

ANÁLISIS RECOMENDADO PARA EL MONITOREO DEL LIXIVIADO

1.- Materia orgánica:	Demanda Bioquímica de Oxígeno del 5°. Día (DBO5) Demanda Química de Oxígeno (DQO)
2.- Parámetros Físicos:	Conductancia Específica. Turbidez.
3.- Parámetros Químicos:  3.1.- Cationes:	Potencial de Hidrógeno pH. Alcalinidad total como CaCo3 Cianuro (CN) Cloruros (Cl) Dureza total como CaCo3 Fosfatos totales como P-PO4-3 Nitrógeno Orgánico como N-Org. Nitrógeno Amoniacoal como N-NH4+ Sulfatos (SO4) -2 Arsenico (As)+3,+5 Cadmio (Cd)+2 Calcio (Ca)+2 Cobre (Cu)+2 Cromo total (Cr)+3,+6 Hierro total (Fe)+2,+3 Magnesio (Mg)+2 Mercurio total (Hg)+2 Niquel (Ni)+2,+3 Potasio (K)+1 Plomo (Pb)+2,+4 Sodio (Na)+1 Zinc (Zn)+2
4.- Organismos indicadores Bacteriológicos:	Bacterias Coliformes totales y fecales en NMP/100 ml.

Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Potencial Hidrógeno (pH), Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Hierro total, Cromo total, Plomo total, Plomo, Cobre, Níquel, Cadmio, Cinc, Mercurio y Manganeso.

Para la toma de muestras, su preservación y análisis se encuentran las siguientes publicaciones:

- 1- Manuales de los Cursos de la SARH, Análisis de Aguas y Aguas de Desecho, CIECCA.
- 2- APHA, AWWA, WPCF, Métodos estándares para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales. 15ª. Edición, 1981.
- 3- Chian S. K., De Walle B., Foppe. Compilation of Methodology used for Measuring Pollution Parameters of Sanitary Landfill Leachate. Series Ecológicas, U.S. EPA 600/3-75-011. Octubre de 1975.

La tabla 5.5 presenta los ámbitos encontrados de las concentraciones del lixiviado provenientes de residuos sólidos municipales.

TABLA 5.5

AMBITOS ENCONTRADOS EN LIXIVIADOS PARA RESIDUOS MUNICIPALES.

COMPONENTE.	AMBITO EN mg/l o ppm.
1) Alcalinidad Total como CaCO <sub>3</sub>	4000 - 25540
2) Arsénico	0.04
3) Cadmio	0 - 0.025
4) Calcio	100 - 320
5) Cianuro	0
6) Cinc	0.25 - 3.0
7) Cloruros	1325 - 8870
8) Cobre	0 - 0.6
9) Conductancia específica	7400 - 3200 en um hos/cm
10) Cromo total	0 - 87
11) Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO)	380 - 52000
12) Demanda Química de Oxígeno	1870 - 62320
13) Dureza total	1800 - 11000
14) Fluoruros	0.6 - 0.8
15) Fósforo total	1 - 10
16) Hierro total	1.7 - 1600
17) Magnesio	396 - 995
18) Manganeso	0.05 - 4.0
19) Mercurio	0 - 0.008
20) Nitratos	0
21) Nitritos	0.2 - 1.2
22) Nitrógeno Amoniacal	15.5 - 1420
23) Nitrógeno Orgánico	46 - 1889
24) Oxígeno disuelto	0
25) Potencial de Hidrógeno	6.3 - 7.9
26) Plomo	0 - 2.0
27) Potasio	365 - 1270
28) Sólidos totales	1700 - 16460
29) Sodio	490 - 4920
30) Sulfatos	40 - 1000
31) Fenol	0.8 - 18
32) Detergentes (SAAM)	0.7 - 233
33) Turbidez	128 - 1500 en UNT

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El problema de los residuos sólidos, en nuestro país, y particularmente en la Cd. de México, se viene agravando como consecuencia del acelerado crecimiento de la población y concentración en las áreas urbanas, del desarrollo industrial, los cambios de hábitos de consumo y mejor nivel de vida, que en conjunto con otra serie de factores que conllevan a la contaminación del medio ambiente y al deterioro de los recursos naturales.

Desgraciadamente, por lo general el desarrollo de cualquier región viene acompañado de una mayor producción de residuos sólidos y, sin duda, ocupa un papel importante entre los distintos factores que afectan la salud de la comunidad. Por lo tanto, constituye un motivo para que se implanten las soluciones adecuadas para resolver los problemas de su manejo y disposición final.

El servicio ordinario de aseo urbano consta fundamentalmente de las actividades de barrido, almacenamiento, recolección, transporte y disposición sanitaria final de los residuos sólidos. Para ser la última de las actividades y debido a la escasez de recurso económicos, la disposición final es el punto crítico de los servicios de aseo urbano.

Históricamente el relleno sanitario ha sido el método más económico y ambientalmente más aceptable para la disposición de residuos sólidos. La construcción de un relleno sanitario nos ofrece grandes ventajas, por mencionar algunas tenemos:

- ξ La **inversión inicial** de capital es **inferior** a la que se necesita para implementar cualquiera de los métodos de tratamiento: incineración o compostación.
- ξ **Bajos costos** de operación y mantenimiento.
- ξ Un relleno sanitario es un **método completo y definitivo**, dada su capacidad para recibir casi todo tipo de desechos sólidos, obviando los problemas de cenizas de la incineración y de la materia no susceptible de descomposición.
- ξ **Genera empleo**, en su mayoría a mano de obra no calificada, disponible en abundancia en los países en desarrollo.

- ξ **Genera gas metano**, en grandes rellenos sanitarios que reciben mas de 200 ton/día, lo que constituye una fuente alternativa de energía en muchas ocasiones para el mismo relleno sanitario.
- ξ Su ubicación puede estar tan **cerca al área urbana** como lo permita la existencia de lugares disponibles, reduciéndose así los costos de transporte y facilitando la supervisión por parte de la comunidad.
- ξ **Recuperar terrenos** que hayan sido considerados improductivos o marginales, tornándolos útiles para la construcción de un parque, área recreativa, campo deportivo, etc.
- ξ Un relleno sanitario puede comenzar a **funcionar en corto tiempo** como método de eliminación.
- ξ Se considera **flexible**, ya que está apto para recibir mayores cantidades adicionales de desechos con poco incremento de personal.
- ξ **Conserva** los recursos naturales y proteger el ambiente.

La supervisión constante de la construcción y la eficiente aplicación de los técnicas de ingeniería mencionados minimiza los posibles problemas que se pudieran presentar en un futuro y por consiguiente optimizar su calidad y eficiencia.

Para garantizar que el relleno sanitario se construya y opere de conformidad con las especificaciones y recomendaciones dadas en el estudio o informe final del proyecto, y para tener la certeza de que se cumplan los objetivos propuestos, es necesario que éste cuente con una administración. La administración del relleno sanitario debe considerar las relaciones públicas como un factor prioritario tanto durante la construcción como después de clausurado el relleno, puesto que la opinión pública juega un papel definitivo para la promoción y divulgación de esta obra de saneamiento básico en otras zonas donde se ubicara un nuevo relleno sanitario.

Este trabajo se prepara con el deseo de contribuir en facilitar la toma de decisiones como a enfrentar la construcción de los rellenos sanitarios que es una obra de saneamiento básico que tiene un gran significado par elevar la calidad de vida de la comunidad, conservar el ambiente, y proteger los recursos naturales.

Por facilidad se está haciendo por operaciones específicas siguiendo los pasos lógicos y ordenados.

Para las condiciones demográficas y culturales actuales del país, el relleno sanitario es la técnica más apropiada para la disposición de los residuos sólidos generados en los distintos asentamientos humanos. Los rellenos sanitarios siempre serán el último lugar de evacuación para los residuos que no pueden ser recuperados. Por esta razón, se debe hacer todo el esfuerzo posible para reducir

la toxicidad de los residuos que finalmente serán puestos en el relleno. El diseño de estos rellenos debe mejorarse para suministrar la localización más segura posible para el almacenamiento a largo plazo de los materiales residuales. Un relleno sanitario controlado no es un basurero; es una instalación de ingeniería utilizada para la disposición final de residuos sólidos en el suelo o dentro del manto de la tierra sin crear incomodidades o peligros para la seguridad o la salud pública, tale como la reproducción de ratas e insectos, y la contaminación de aguas subterráneas.

Por lo antes mencionado la selección del sitio llega a ser un determinante primordial en el diseño y el funcionamiento de las instalaciones del relleno. Para todos los nuevos lugares donde se va a realizar un relleno sanitario se requieren de declaraciones del impacto ambiental para asegura el compromiso con los temas de la salud pública, estética y uso futuro del terreno.

## **GLOSARIO DE TERMINOS**

Con el propósito de asegurar una mejor comprensión de las diferentes operaciones que se describen en el presente documento, se consideró de suma importancia agregar un glosario de términos técnicos, relacionados con la disposición final de los residuos sólidos municipales

Se espera que con la definición y la explicación de algunos conceptos, el lector Aproveche de manera más eficiente la información que se presenta en esta tesis.

### **Ambiente.**

El conjunto de elementos naturales o inducidos por el hombre que interactúan en un espacio y tiempo determinado.

### **Abundamiento.**

Es el aumento que tiene (en cuanto a volumen) el material una vez que es sacado de su estado original. Por ejemplo: el material de cubierta en banco tiene un volumen igual a 1, excavado sin compactar tiene un volumen igual a 1.3.

### **Banco de nivel.**

Es una marca, placa o estaca, la cual indica una elevación de un punto que sirve de referencia para marcar las demás elevaciones del terreno.

### **Berma.**

Espacio al pie del talud entre éste y el declive exterior del terraplén.

### **Biodegradable.**

Cualidad que tiene toda la materia de tipo orgánico para ser metabolizada por medios biológicos.

### **Biogás.**

Es una mezcla de gases de bajo peso molecular (metano, bióxido de carbono, etc.) producto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica.

### **Bióxido de carbono.**

Gas cuya fórmula es  $\text{CO}_2$ . Es un gas incoloro, más pesado que el aire. Altamente soluble en el agua formando soluciones de ácidos débiles corrosivos. No flamable.

**Características biológicas.**

Contenido de organismos en los residuos sólidos medido a través de indicadores, tales como: número más probable (N.M.P), cuenta en placa y resultados de ensayos biológicos.

**Características físicas.**

Propiedades que definen el estado de la materia que constituye a todo residuo sólido, así como aquellas que no alteran o modifican su naturaleza y composición. Los parámetros más empleados para determinarlas son: densidad, humedad y poder calorífico.

**Características químicas.**

Propiedades que definen la potencialidad de la materia contenida en todo tipo de residuo sólido para transformarse, cambiar de energía o alterar su estado. Los parámetros más empleados son pH, contenido orgánico total, carbono total, fósforo total, nitrógeno total, relación de carbono-nitrógeno, cenizas, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), azufre, sales, ácidos, bases y metales pesados.

**Cárcamo de bombeo.**

Es el sitio, generalmente más bajo que el nivel de terreno, en el cual se introduce la succión de la bomba.

**Caudal o flujo.**

Es aquel en la que cada partícula de agua se mueve en una dirección paralela a la de cualquier otra.

**Celdas.**

Es la conformación geométrica que se le da a los residuos sólidos municipales y al material de cubierta, debidamente compactado mediante equipo mecánico.

**Compactación.**

Es la acción de presionar cualquier material para reducir los vacíos existentes en él.

**Contaminante.**

Todo elemento, materia, sustancia, compuesto, así como toda forma de energía técnica, radiaciones o ruidos que al incorporarse o actuar en cualquier elemento del medio físico, alteran o modifican su estado y composición; o bien, afectan la flora, la fauna o la salud humana. Debe entenderse como medio físico el suelo, aire y agua.

**Control.**

Inspección, vigilancia y aplicación de las medidas necesarias para el cumplimiento de las disposiciones establecidas.



**Corte.**

Es la acción de rebajar por medios mecánicos o manuales un material.

**Cota.**

Es la marca que indica la elevación de un banco de nivel.

**Cubicación.**

La cuantificación del volumen de cualquier material o vacío tomando como unidad el metro cúbico.

**Degradable.**

Cualidad que presentan determinadas sustancias o compuestos para descomponerse gradualmente por medios físicos, químicos o biológicos.

**Densidad.**

Masa o cantidad de materia de un determinado residuo sólido, contenido en una unidad de volumen.

**Disposición final.**

El depósito permanente de los residuos en un sitio en condiciones adecuadas para evitar daños a los ecosistemas.

**Dren.**

Estructura que sirve para el saneamiento y eliminación del exceso de humedad en los suelos.

**Escurrimiento.**

Es el agua pluvial que no se infiltra y no se evapora.

**Generación.**

Cantidad de residuos sólidos originados por una determinada fuente en un intervalo de tiempo.

**Impacto ambiental.**

Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

**Lixiviado.**

El lixiviado es producido fundamentalmente por las aguas de lluvia que se infiltran a través del material de cobertura y atraviesan las capas de basura, transportando concentraciones apreciables de materia orgánica en descomposición y otros contaminantes sumado a la humedad (H<sub>2</sub>O) propia de la basura que es de un 45 a 60%.

**Material de cubierta.**

Capa superficial que tiene como finalidad controlar infiltraciones, el ingreso o egreso de fauna nociva.

**Mejoramiento.**

El incremento de la calidad.

**Metano.**

Gas que constituye el primer término de la serie de los hidrocarburos saturados. Es un gas incoloro, más ligero que el aire, poco soluble en el agua y tiene por fórmula  $CH_4$ . Es el más simple de todos los compuestos orgánicos, lo cual explica su abundancia en la naturaleza, ya que se desprende de los materiales orgánicos en estado de descomposición. El metano se forma por combinación de hidrógeno con el carbono siendo una reacción reversible, es poco oloroso, se consume como combustible.

**Migración de biogás.**

Movimiento de las partículas de biogás a través del relleno sanitario y fuera de los rellenos sanitarios.

**Monitoreo.**

Muestreo y mediciones repetidas para determinar los cambios de niveles o concentraciones de contaminantes en un período y sitio determinado. En sentido restringido el muestreo y la medición regular de los niveles de contaminación en relación a una norma o para juzgar la efectividad de un control.

**Muestra.**

Parte representativa de un universo o población finita, obtenida para conocer sus características.

**Nivel freático.**

Es la profundidad a la que se encuentran las aguas freáticas. Este nivel baja en tiempo de secas y sube en tiempo de lluvias.

**Pendiente.**

Es la inclinación que tiene un terreno o cualquier elemento tomando como base la relación longitud horizontal ente longitud vertical.

**Perímetro.**

Es la longitud exterior de un cuerpo cerrado.

**Permeabilidad.**

Es la capacidad del suelo para conducir o descargar cualquier fluido, cuando se encuentra bajo un gradiente. Esta depende de la densidad del suelo, el grado de saturación y del tamaño de las partículas.

**Poligonal.**

Es aquella figura donde se vacían los datos de topografía (longitud y ángulo) para indicar una porción del terreno. Las poligonales pueden ser abiertas o cerradas.

**Porosidad.**

Es el porcentaje de vacíos en el volumen total de una muestra o bien, el cociente del volumen que puede ser ocupado por agua entre el volumen total.

**Pozo de monitoreo.**

Perforación profunda que se hace en un relleno sanitario para poder medir la cantidad de biogás o lixiviados que se generan en el mismo.

**Prevención.**

El conjunto de disposiciones y medidas anticipadas para evitar el deterioro de un elemento.

**Protección.**

El conjunto de políticas y medidas para mejorar el ambiente y prevenir y controlar su deterioro.

**Relleno Sanitario.**

Método de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos municipales, los cuales se depositan, se esparcen, compactan el menor volumen práctico posible y se cubren con una capa de tierra, al término de las operaciones del día.

**Residuo.**

Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización o tratamiento, cuya calidad no permite incluirlo nuevamente en el proceso que lo generó.

**Residuos incompatibles.**

Aquellos que al combinarse y/o mezclarse producen reacciones violentas o liberan sustancias peligrosas.

**Residuos peligrosos.**

Todo aquel material que por sus características físicas, químicas y biológicas, representa desde su generación daño para el ambiente.

**Residuo potencialmente peligroso.**

Todo aquel material que por sus características físicas y biológicas, pueda representar un daño para el ambiente.

**Residuo sólido.**

Cualquier material que posea suficiente consistencia para no fluir por sí mismo.

**Residuo sólido municipal.**

Aquellos residuos que se generan en: casa habitación, parques, jardines, vía pública, oficinas, sitios de reunión, comercios, bienes inmuebles, demoliciones, construcciones, instituciones, establecimientos, de servicio y en general todos aquellos generados en actividades municipales, que no requieren técnicas

especiales para su control, excepto los peligrosos de hospitales, clínicas, laboratorios y centros de investigación.

**Talud.**

Parámetro inclinado de un dique, terraplén o desmonte.

**Terraplén.**

Macizo de tierra con que se rellena un hueco, o que se levanta para hacer una defensa, un camino u otra obra semejante.

**Terrazas.**

Ordenación de las pendientes muy inclinadas con el fin de crear parcelas horizontales.

**Tratamiento.**

El proceso que sufren los residuos para eliminar su peligrosidad o hacerlos reutilizables.

**Vida útil.**

Es el período de tiempo en que el relleno sanitario estará apto para recibir basura continuamente. El volumen de basura y tierra depositados en ese período, es igual al vacío entre la superficie final del relleno.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE). **Manual de Rellenos Sanitarios**. Subsecretaría de Ecología, México, 1984
2. San Martín, Hernán. **Ecología Humana y Salud**. Ediciones científicas 2ª Edición, México, D. F. 1983.
3. Strauss, W. y Mainwaeing, S. J. **Contaminación del Aire**. Editorial Trillas, México, D. F. 1990.
4. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). **Norma Oficial Mexicana NOM-084-ECOL-1998 (Proyecto)**. México, D. F., 1995.
5. Castro Rios, Rafael. **Criterios Geotécnicos en el Diseño de Revenimiento con Arcilla o Material Sintético para Control de Contaminantes**. Tesis Profesional, UNAM, México, D. F.
6. Terradas, Jaume. **Ecología Hoy: El Hombre y su Medio**. Editorial Barcelona: Teide.
7. Jaramillo, Jorge. **Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios**. Washington, D. C. enero 1997.
8. Theodorson, George A. **Estudios de Ecología Humana Vol. 5**. Editorial Barcelona: Labor.
9. División de Educación Continua, UNAM. **Memorias del Curso Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales**. México, D. F. noviembre 1994.
10. Badillo, Juárez y Rodríguez, Rico. **Mecánica de Suelos Vol. I**. Editorial Limusa, México, 1996.
11. Terradas, Jaume. **Ecología y Educación Ambiental**. Editorial Barcelona: Omega, 1980.

12. **Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL). Manual para la rehabilitación y clausura de tiraderos a cielo abierto.** México, diciembre, 1996.
13. **Aparicio, Francisco. Fundamentos de Hidrología de Superficie.** Editorial Limusa, México, D.F., 1996.
14. **Tchobanoglous, George. Gestión Integral de Residuos Sólidos.** Editorial Mc. Graw Hill, 1994.
15. **Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1996.** México, D. F, 1995.