



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DISPOSICION DE DESECHOS SOLIDOS POR EL  
METODO DE RELLENO SANITARIO.



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

CARLOS RIVAS FUENTES



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.

AR. TESIS 1979  
DA. M. T. 292 ~~292~~  
ECHA. 292  
RES. \_\_\_\_\_  
S. \_\_\_\_\_



**J U R A D O**

**Presidente Prof. EMILIO BARRAGAN HERNANDEZ**

**Vocal Prof. CLAUDIO AGUILAR MARTINEZ**

**Secretario Prof. ALBERTO DE LA FUENTE ZUNO**

**1er. Suplente Prof. ENRIQUE BRAVO MEDINA**

**2o. Suplente Prof. JUDITH AGUILERA LOPEZ**

**Sitio donde se desarrolló el tema:**

**Facultad de Química, U.N.A.M. y domicilio del sustentante**

**Nombre del sustentante: CARLOS RIVAS FUENTES**

**Nombre del asesor del tema: ING. ALBERTO DE LA FUENTE ZUNO**

## I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION	1
Capítulo I      DESCOMPOSICION DE DESECHOS	
SOLIDOS	4
1.1 Lixiviado	5
1.2 Gases	9
Capítulo II     HIDROLOGIA Y CLIMATOLOGIA	14
2.1 Aguas superficiales	15
2.2 Aguas freáticas	17
2.3 Climatología	18
Capítulo III    SUELOS Y GEOLOGIA	20
3.1 Material de recubrimiento	21
3.2 Tipo de terreno	25
Capítulo IV    CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE	
UN RELLENO SANITARIO	27
4.1 Selección del terreno	27
4.2 Acondicionamiento del terreno	29

4.3	Control de aguas superficiales	33
4.4	Protección del manto freático	34
4.5	Movimiento de los gases	37
4.6	Métodos de rellenado	43
Capítulo V	<b>OPERACION DE UN RELLENO SANITARIO</b>	54
5.1	Horas de operación	55
5.2	Pesado de los desechos	56
5.3	Tráfico y descarga	57
5.4	Manejo de los desechos	58
5.5	Colocación de la cubierta	64
5.6	Mantenimiento	67
5.7	Condiciones climatológicas	70
5.8	Incendios	70
5.9	Olores	72

Capítulo VI	EQUIPO Y PERSONAL	73
6.1	Equipo	73
6.2	Funciones del equipo	73
6.3	Personal	76
Capítulo VII	RELLENO TERMINADO	78
7.1	Características	78
7.2	Usos	83
Capítulo VIII	ASPECTO LEGAL	87
CONCLUSIONES		95
BIBLIOGRAFIA		99

## I N T R O D U C C I O N

La comunidad que protege la salud y seguridad de sus residentes y que es limpia y atractiva necesita un sistema de recolección y eliminación de desechos eficiente y bien organizado. Sin él ratas e insectos pululan por todas partes, transmitiendo enfermedades. El aire y el agua son contaminados, el peligro de incendios y los malos olores proliferan y las calles, estacionamientos y lotes baldíos están sucios y nada atractivos.

La idea de la recolección y eliminación de los desechos es relativamente nueva en el mundo civilizado. Aunque el tratamiento mediante cremado era conocido en las civilizaciones antiguas, la recolección y tratamiento sistemáticos no eran corrientes ni siquiera en las principales ciudades del mundo hasta bien entrado el siglo XIX. Hasta entonces, en las ciudades se arrojaban las basuras y excrementos a las calles y calzadas sin pavimentar, en donde se mezclaban con los excrementos de los animales domésticos. Incluso en la edad de oro de la Grecia antigua, las calles se encontraban llenas de basura, al igual que en las ciudades y villas europeas de la Edad Media.

En realidad, las plagas y epidemias que asolaron países y

continentes enteros se produjeron en gran parte por falta de sistemas de eliminación de residuos o porque eran totalmente inadecuados, y aunque durante muchos siglos existieron en las ciudades de Occidente ordenanzas locales prohibiendo arrojar residuos en las calles, encontraban poco apoyo o cumplimiento público, hasta que los estudios bacteriológicos y epidemiológicos establecieron los fundamentos de la ciencia sanitaria actual. Hasta entonces no se probó la relación entre el tratamiento de residuos y la transmisión de enfermedades por moscas, mosquitos, ratas y otros animales dañinos.

La eliminación de residuos quemándolos al aire libre es anterior, sin duda, a la historia escrita, como lo es también el uso de la basura para la cría de cerdos. La eliminación de los desechos enterrándolos es de gran antigüedad, se cree que por lo menos se remonta a los tiempos bíblicos. Los hornos para quemar desechos se diseñaron a fines del siglo XIX y la trituración de basuras se inició en los primeros años de la década de 1920.

Fue entre 1930 y 1939 cuando se intentó eliminar los desechos apisonándolos para que ocuparan menor espacio y cubriéndolos con tierra en forma económica e higiénica. Fue en este período cuando hizo su aparición el término "relleno sanitario".

Dado que la producción de desechos de todo tipo aumenta constantemente en todo el mundo, es muy importante buscar soluciones al problema de su disposición, la cual, en el caso de los desechos sólidos, no debe concretarse a los "tiraderos", que son tan comunes en México, sino a métodos más efectivos, que no contaminen el aire, el agua y la tierra como los ya mencionados tiraderos.

Este trabajo tiene como objetivo principal el dar a conocer (en algunos casos) e impulsar el método de disposición de desechos sólidos conocido con el nombre de Relleno Sanitario.

## C A P I T U L O I

### DESCOMPOSICION DE DESECHOS SOLIDOS.

Para diseñar correctamente y escoger el lugar más adecuado para la construcción de un Relleno Sanitario es muy importante conocer a fondo el proceso mediante el cual se efectúa la descomposición de los desechos sólidos.

Estos desechos se degradan química y biológicamente, produciendo sólidos, líquidos y gases. Los metales ferrosos y otros metales se oxidan y los desechos orgánicos e inorgánicos son degradados por microorganismos mediante procesos aerobios y anaerobios. Los productos líquidos de dichas degradaciones (ácidos orgánicos, por ejemplo) incrementan la actividad química en el relleno. Los desechos de alimentos se degradan con cierta facilidad, mientras que otros materiales como plásticos, hule, vidrio y algunos materiales de demolición, son altamente resistentes a la descomposición. Una buena degradación se ve afectada por diversos factores como el carácter heterogéneo de los desechos, sus propiedades físicas, químicas y biológicas, la disponibilidad de oxígeno y humedad en el relleno, la temperatura y la población microbiana. Dado que los desechos sólidos forman normalmente una masa heterogénea de tamaño y composición variable, así como otros factores que son variables, complejos y difíciles de controlar, no es posible predecir con exactitud las cantidades de contaminantes ni su velo

cidad de producción.

La actividad biológica en un relleno sanitario sigue generalmente un patrón. Inicialmente los desechos sufren una degradación aerobia, pero al irse agotando el oxígeno aparecen microorganismos anaerobios, los cuales producen metano, que es un gas incoloro e inodoro. La actividad de estos microorganismos provoca aumentos en la temperatura, que puede llegar a elevarse hasta a 70°C, aunque normalmente las temperaturas son más bajas (de 40 a 50°C). Los productos típicos de una descomposición anaerobia son: metano, dióxido de carbono, agua, ácidos orgánicos, nitrógeno, amoníaco y sulfuros de fierro, manganeso e hidrógeno.

## 1.1 L I X I V I A D O

En un relleno sanitario puede haber filtraciones de agua, ya sea desde la superficie o bien de corrientes subterráneas, produciéndose un lixiviado, que es una solución con sólidos disueltos y en suspensión, así como productos de la descomposición microbiana. Este lixiviado puede aflorar a la superficie o infiltrarse a través del suelo hacia abajo o en los alrededores.

Es muy importante conocer la composición del lixiviado para poder determinar sus posibles efectos en las corrientes superficiales y subterráneas. Los contaminantes presentes en el lixiviado van a

depender de la composición de los desechos, así como de la actividad física, química y biológica que se presenta simultáneamente en el relleno. La determinación de la composición de los lixiviados ha sido objeto de numerosos estudios de campo y de laboratorio.

La determinación de la composición de un lixiviado debe hacerse lo más completa posible, identificándose la presencia de  $\text{CaCO}_3$ , el pH, presencia de calcio, magnesio, sodio y potasio, hierro y iones ferrosos, cloruros, sulfatos y fosfatos, zinc, níquel y sólidos en suspensión.

Es de suponerse que la cantidad de contaminantes en el lixiviado de un relleno terminado disminuirá con el tiempo, pero solo con una mayor investigación en el laboratorio y en el campo se podrá describir más adecuadamente éste fenómeno. Si el relleno se considera como una masa con una cantidad finita de material lixiviable, es evidente que la producción del lixiviado deberá terminar eventualmente.

El tipo y cantidades de contaminantes arrastrados por el agua y la facilidad de ésta para asimilarlos determinará la necesidad de un mayor o menor control del lixiviado. En algunos casos puede llegarse a la conclusión de que el lixiviado no daña a la ecología ni hace inservible al agua con la que entre en contacto.

La forma más obvia de controlar la producción de lixiviado y su movimiento es previniendo la entrada de agua al relleno lo más que sea posible.

El lixiviado que se filtra en el suelo debajo y en los alrededores del relleno está sujeto a una atenuación de los contaminantes - causada por fenómenos de intercambio iónico, filtración, adsorción, formación de complejos, precipitación y biodegradación; se mueve como un flujo insaturado si los espacios en el suelo están parcialmente llenos con agua y como flujo saturado si el agua los llena. El tipo de flujo afecta al mecanismo de atenuación, así como el tamaño de partícula en el suelo y su forma y composición.

La atenuación de los contaminantes que fluyen en la zona insaturada generalmente es mayor que en la zona saturada, ya que existe un mayor potencial para la degradación aerobia, adsorción, formación de complejos y de un intercambio iónico de compuestos orgánicos, inorgánicos y microbios. La degradación aeróbica de la materia orgánica es más rápida y completa que la degradación anaeróbica. En el flujo saturado la presencia de oxígeno es muy limitada, por lo que prevalece la degradación anaeróbica.

La adsorción y el intercambio iónico dependen grandemente del área de la interfase sólido-líquido. La relación entre el área de la interfase y el volumen del flujo es mayor en un flujo insaturado que en el saturado.

El movimiento del lixiviado en la zona de saturación es controlado básicamente por la permeabilidad del suelo, pero también se pre-

sentan en menor proporción fenómenos de difusión capilar y dispersión.

Resultados obtenidos experimentalmente demuestran que las distancias recorridas por los contaminantes dependen de la composición del suelo, su permeabilidad y el tipo de contaminante. Los materiales orgánicos que son biodegradables no viajan muy lejos, pero los iones inorgánicos pueden viajar apreciables distancias. Algunos contaminantes inorgánicos se han localizado a distancias hasta de 400 metros del relleno en donde se originaron. Otros estudios indican que la velocidad de los contaminantes en ciertas clases de suelos es tan baja, que no es posible detectar su movimiento después de varios años. Si la velocidad del contaminante es baja, la posibilidad de contaminación de un manto acuífero es también reducida.

Los materiales inorgánicos son más resistentes a la atenuación, esto sucede principalmente en el ión cloruro, el cual es magnífico como indicador del movimiento de un lixiviado.

Los procesos naturales de purificación de lixiviados tienen una posibilidad limitada en la eliminación de contaminantes, ya que el número de centros activos para la adsorción y los iones intercambiables son finitos. Además, los procesos son dependientes del tiempo, el cual se reduce con velocidades de flujo altas. Estas velocidades son reducidas por la filtración y sedimentación de los contaminantes que se encuentran en suspensión, ya que reducen la porosidad y permeabilidad del sue-

lo. Esto, con el tiempo, reduce las posibilidades de un mayor desplazamiento del lixiviado a través del suelo.

## 1.2 G A S E S

En toda degradación de desechos sólidos se va a presentar la formación de gases, cuya composición y cantidad van a depender del tipo de desechos. Cuando existen grandes cantidades de materiales orgánicos fácilmente degradables se producen cantidades de gases mayores que cuando los desechos son sólo cenizas y material de demolición.

La velocidad de producción de gases va a depender del grado de actividad microbiana presente en la descomposición. Cuando la descomposición termina, la producción de gases también. Teóricamente, si la descomposición es total, cada kilogramo de desechos sólidos que contengan un 25% de inertes producirán hasta 200 litros de gas.

Los principales constituyentes de los gases de descomposición son el metano y el dióxido de carbono, estando presentes también otros gases que son los que producen los malos olores. El sulfuro de hidrógeno, por ejemplo, se produce en grandes cantidades cuando en el relleno abundan los sulfatos (de calcio principalmente).

Son pocos los estudios que se han hecho acerca de la composición de los gases, pero algunos de ellos nos indican que tres meses -

después de colocar los desechos en el relleno se produce un alto porcentaje de  $\text{CO}_2$  y una mínima cantidad de  $\text{CH}_4$ , mientras que 4 años después los dos gases se producen casi en el mismo porcentaje (del 48 al 51%). La escasa producción de metano en los primeros meses es debida a que la descomposición que predomina es la aerobia.

Es importante considerar a estos gases en el momento de hacer la evaluación de los efectos del relleno en el medio ambiente, ya que el metano es explosivo, mientras que el dióxido de carbono puede provocar la mineralización de las aguas subterráneas al disolverse y formar ácido carbónico. El metano sólo es explosivo mezclado con el aire en concentraciones del 5 al 15% y como en el relleno no hay oxígeno, no hay peligro de explosión si el metano alcanza los niveles críticos. Pero si fluye hacia la atmósfera (es menos denso que el aire) puede acumularse en algún lugar cerrado como casas o edificios cercanos. Esta posibilidad de movimiento de los gases es un factor fundamental en la selección del sitio en el cual se construya el relleno, que puede encontrarse cercano a zonas residenciales, comerciales o industriales.

La permeabilidad del terreno al paso de los gases puede influir en su movimiento. Si el terreno es seco, los gases no tienen ningún obstáculo en su trayectoria, pero si se encuentra húmedo (como la arcilla) forma una excelente barrera. De acuerdo a lo anterior, si el material de cubierta del relleno no está bien drenado, los gases no tie

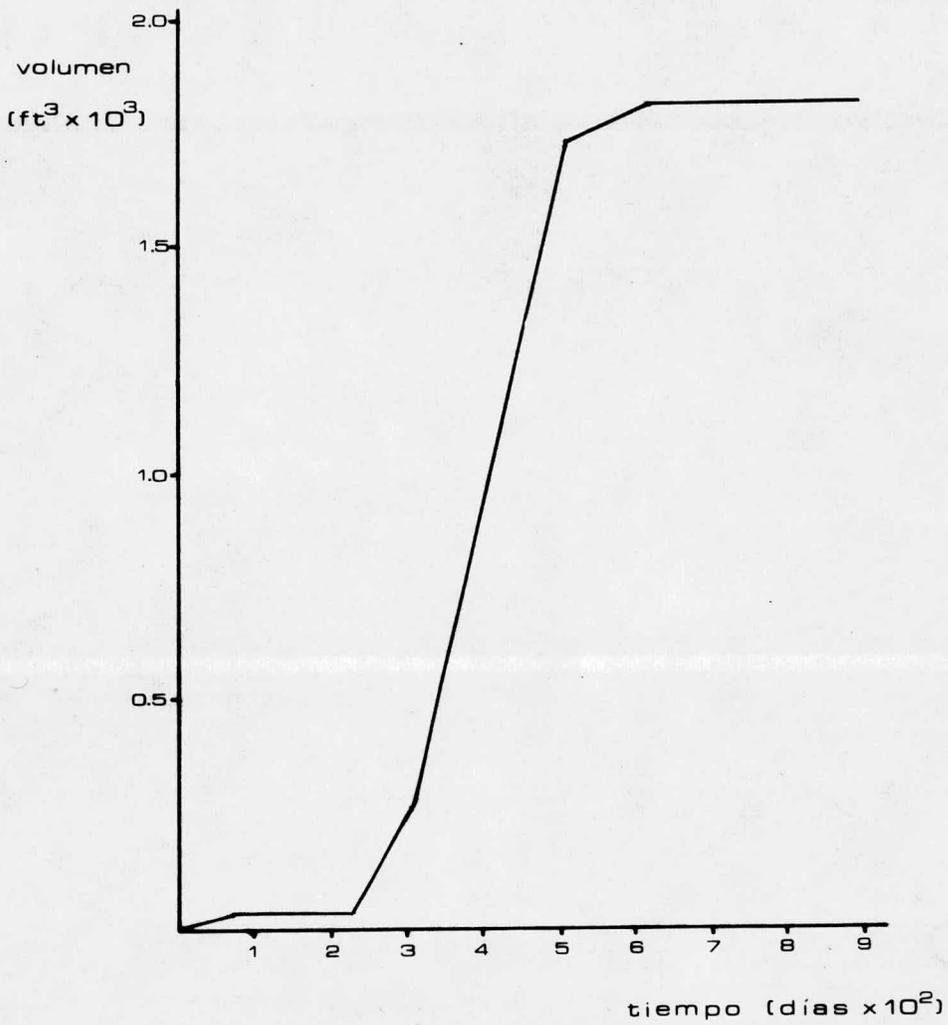


FIG. 1

nen un libre acceso hacia la superficie, por lo que se desplazarán lateralmente hasta encontrar salida a la atmósfera. En el capítulo correspondiente al Diseño del Relleno Sanitario mencionaré algunas técnicas para controlar el flujo de los gases.

La figura no. 1 nos muestra una gráfica en la cual se puede observar la producción de gases en un relleno sanitario construido experimentalmente. El relleno se efectuó con  $30.5 \text{ m}^3$  de desechos residenciales a una densidad de  $380 \text{ kg/m}^3$  y con un contenido de humedad del 34.6 %. La composición de los desechos sólidos usados fue:

papel	42.7 %
pasto y desechos	
de jardinería	38.0 %
plásticos	3.0 %
vidrio	5.0 %
metal	7.0 %
polvo	5.0 %

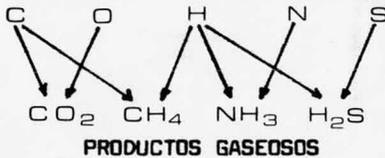
Con los datos obtenidos en el relleno experimental se construyó la siguiente tabla, en la cual se indica la composición promedio de los gases que se presentan más comúnmente en un relleno sanitario con el transcurso del tiempo. Podemos observar claramente la desproporción que existe entre la producción de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ .

### COMPOSICION DE LOS GASES DE UN RELLENO SANITARIO

Tiempo (meses)	Por ciento en volumen		
	NO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
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
36 - 42	0.9	50	47
42 - 48	0.4	51	48

### ELEMENTOS PRESENTES EN LOS

### CARBOHIDRATOS, GRASAS Y PROTEINAS



## C A P I T U L O   I I

### HIDROLOGIA Y CLIMATOLOGIA.

Una de las consideraciones fundamentales en la selección del sitio adecuado para un Relleno Sanitario es la Hidrología de la zona, ya que es de ella de quien depende la formación del lixiviado, su cantidad y la posible contaminación del agua en los alrededores.

Los desechos sólidos, desde el punto de vista del contenido de humedad, varían grandemente en un relleno sanitario. La madera, el concreto y otros desechos de construcción tienen bajos contenidos de humedad, mientras que los desechos alimenticios pueden ser extremadamente húmedos. El papel, que es uno de los principales constituyentes de los desechos sólidos, tiene un bajo contenido de humedad, mientras que los metales y el vidrio están libres de ella.

En términos generales, una comunidad genera desechos con una humedad del 20 al 30% en peso. Si estos desechos se mezclan y compactan perfectamente no habrá producción de lixiviado, ya que las pequeñas cantidades de agua presentes junto con las cantidades mínimas producidas en la descomposición son absorbidas por las cantidades relativamente grandes de desechos secos presentes.

El lixiviado sólo se produce hasta que todo el relleno o una porción considerablemente grande se encuentre saturada con agua del --

exterior. Por esta razón es muy importante el estudio de la hidrología de la zona. Los principales factores que deben considerarse son la -- precipitación pluvial, corrientes superficiales, evaporación, transpiración y la localización y movimiento del agua subterránea con relación al relleno.

## 2.1 AGUAS SUPERFICIALES

La filtración del agua de la superficie hacia los desechos -- a través de la cubierta de tierra puede aumentar la velocidad de descomposición y eventualmente provocar la rápida y abundante formación de lixiviado, con los consiguientes problemas de contaminación. A menos que se planea una rápida descomposición y se tenga prevista la -- recolección y el tratamiento del lixiviado, es aconsejable reducir al mínimo la cantidad de agua que se filtre en el relleno.

La permeabilidad de la tierra es la medida de la facilidad o dificultad con la que el agua penetra a través de ella. Está afectada grandemente por la textura, tamaño de partículas y estructura de la -- tierra, así como de su grado de compactación. Cuando se trata de partículas "gruesas" como la grava y la arena existe una mayor permeabilidad que cuando hay partículas muy "finas" (fango y arcilla). Además, si se tiene una cierta cantidad de partículas "finas" mezcladas con par-

tículas "gruesas" se disminuye notablemente la permeabilidad de estas últimas y si se presentan cuarteaduras en una cubierta constituida -- por partículas finas, la permeabilidad aumenta.

La cantidad de agua que penetra en el relleno depende no solo de estas características físicas, sino también del tiempo de residencia del agua en la superficie. Este se puede reducir de varias formas: (1) poniendo un drenaje adecuado en la superficie, (2) dando a -- las cubiertas diarias y a la final una pendiente adecuada para que el agua resbale y (3) disminuyendo la permeabilidad del material de la -- cubierta.

Se han hecho muy pocas investigaciones detalladas acerca de la cantidad de agua que puede penetrar en un relleno a través de la -- cubierta, así como de la cantidad y calidad de los líquidos producidos por él. Uno de los investigadores de este fenómeno afirma que se puede predecir la cantidad de agua que penetrará al relleno si se conoce la capacidad de almacenamiento de agua, cantidad y frecuencia de la -- filtración, velocidad de evaporación y velocidad de transpiración del material para la cubierta. En condiciones ideales de laboratorio o en un relleno experimental esto puede ser posible, pero ya tratándose de un caso real las mediciones se vuelven complicadas.

Todos estos datos son muy necesarios, ya que la colocación -- de la cubierta no se puede controlar rígidamente, con lo que pueden --

surgir discontinuidades en el funcionamiento del relleno. Algunas causas son las variaciones en el espesor de la cubierta, su textura y grado de compactación así como los pequeños cambios en la pendiente de la cubierta cuando ya se ha asentado; todo esto puede ser el origen de cuarteaduras y de fisuras. Además, las pequeñas variaciones en la intensidad de las precipitaciones pluviales, los cambios leves en la vegetación y algunas otras alteraciones menos importantes en la cubierta final del relleno pueden ejercer una influencia importante en la filtración de humedad en el relleno.

## 2.2 AGUAS FREÁTICAS

El manto freático está constituido por agua contenida en una zona de saturación en un terreno normal o rocoso, es decir, todos los poros en el material se encuentran saturados con agua. Esta zona puede encontrarse a flor de tierra, como es el caso de los manantiales, lagos, pantanos, etc. o puede estar también a muchos metros por debajo del nivel del suelo, como sucede en las regiones extremadamente áridas.

El nivel del agua es normalmente el que se observaría en un pozo a la presión atmosférica, pero en terrenos en los que hay partículas muy finas se presentan fenómenos de capilaridad, provocando la aparición de un nivel aparentemente más alto.

La zona de saturación nunca es continua en profundidad ni en su extensión. Al hacer una perforación puede encontrarse una zona de saturación a una profundidad mínima, después una zona seca y a una mayor profundidad puede encontrarse otra zona de saturación.

Dado que las condiciones que provocan la presencia de agua -- son muy complejas, es esencial que en la evaluación de un terreno que vaya a ser usado para un relleno sanitario participe un geólogo capacitado para esta clase de investigaciones, no solo para localizar la zona de saturación sino también para predecir su dirección y la velocidad de su movimiento, ya que en éstas zonas el agua se mueve vertical y lateralmente. Este movimiento va a depender de la permeabilidad del suelo o formación rocosa en la que se encuentre y de las fuerzas hidráulicas externas que actúen sobre ellas.

### 2.3 CLIMATOLOGIA

El diseño y la operación de un relleno sanitario se van a ver seriamente afectados por el viento, la lluvia y la temperatura.

Un lugar en donde sopla mucho el viento va a necesitar la colocación de cercas especiales para evitar que la basura sea arrastrada, además, cuando la tierra se seca es arrastrada también por el viento, con las consiguientes molestias para los habitantes de los alrededores.

Otra forma de eliminar este problema es plantando árboles en el perímetro de la zona del relleno, evitando así el polvo y la basura. Los caminos de tierra y grava que suelen construirse dentro de la zona de trabajo también provocan molestias cuando sopla el viento, pero en este caso la molestia se elimina regándolos con agua o alguna otra sustancia adecuada para este fin.

El efecto de la lluvia al infiltrarse en el relleno y su influencia sobre la descomposición de los desechos ya se discutió anteriormente. La lluvia puede provocar también problemas en la operación del relleno, pues algunas clases de tierras usadas para cubrir la basura son difíciles de esparcir y compactar cuando están húmedas. Además, puede llegar a formarse lodo, el cual dificulta el tráfico de algunas clases de vehículos.

### C A P I T U L O I I I

#### SUELOS Y GEOLOGIA

Antes de construir un relleno sanitario es esencial hacer un estudio de los suelos y las condiciones geológicas del área escogida, - para poder predecir los posibles efectos de su construcción sobre el me dio ambiente. El estudio debe señalar las limitaciones que el suelo y - las condiciones geológicas imponen sobre la seguridad y sobre un diseño y operaciones eficientes.

Un estudio completo debe incluir una identificación y descripción del tipo de suelo, su variación y distribución. Debe describir las propiedades físicas y químicas del lecho rocoso, sobre todo si existe la posibilidad de que influya sobre el movimiento del agua y de los gases. Otros elementos importantes para el estudio son la permeabilidad de la tierra y la facilidad para trabajarla, así como los diferentes estratos y la estructura del lecho rocoso.

Los materiales rocosos se clasifican generalmente en: sedimen tarios, ígneos y metamórficos. Las rocas sedimentarias se forman con los productos de la erosión de las rocas más antiguas y con depósitos de ma teria orgánica. Las ígneas provienen de masas fundidas de las profundidades de la tierra y las metamórficas se originan a partir de las ígneas

y sedimentarias que se han alterado física y químicamente a causa de temperaturas y presiones muy elevadas.

Las arenas,graves y arcillas son de origen sedimentario. Las rocas sedimentarias son frecuentemente muy permeables y por lo tanto representan una gran posibilidad de flujo de aguas subterráneas. Si se forma lixiviado y entra en el estrato rocoso,el movimiento de los contaminantes será mayor si el estrato es de origen sedimentario. Otras ro--cas que se clasifican comunmente como sedimentarias son las calizas,areniscas y conglomerados. Es muy común en las rocas sedimentarias la presencia de fracturas,las cuales incrementan su permeabilidad. De hecho, los estratos con mayores posibilidades de filtración de agua son las --formaciones de areniscas porosas,calizas altamente fracturadas y depósitos de grava y arena.

Las rocas ígneas y metamórficas,como el esquisto,cuarzita,ob--sidiana,mármol y granito tienen generalmente una permeabilidad baja.Sin embargo,si estas rocas sufren fracturas pueden permitir el paso de can--tidades limitadas de agua. El movimiento de lixiviado a través de estos estratos no debe ser rechazado categóricamente.

### 3.1 MATERIAL DE RECUBRIMIENTO

La principal diferencia entre un tiradero de basura y un re--

lleno sanitario es visual, ya que un relleno sanitario va a llevar una cubierta de tierra. En él, los desechos sólidos compactados se encuentran totalmente rodeados de una capa de tierra al final de cada día, o con mayor frecuencia si es necesario.

El material de recubrimiento desempeña diversas funciones en un relleno sanitario e idealmente la tierra disponible debe ser capaz de -- desempeñarlas todas.

Sus funciones son controlar el ingreso de moscas, impedir la entrada de roedores en busca de alimento y prevenir que las aves se alimenten de los desperdicios. Todo esto se evita recubriendo diariamente o -- varias veces al día. Experimentalmente se ha demostrado que una capa de 15 cm. de cubierta es más que suficiente para evitar estos problemas, ade más de darle una apariencia adecuada al relleno.

Muchos materiales, cuando se compactan adecuadamente, tienen una baja permeabilidad, no se contraen y pueden usarse para controlar la hume dad que de otra manera entraría, favoreciendo la formación de lixiviado.

Una función esencial de la cubierta es el control del movi--- miento de los gases. Los gases se pueden bloquear o ventilar a través de la cubierta, dependiendo del uso que piense darse al relleno terminado y terrenos que lo rodean. Un material permeable que no retenga mucha agua puede permitir una ventilación adecuada de los gases. Si quiere evitarse

el escape de gases a través de la cubierta debe usarse entonces un material con un alto grado de retención de la humedad, que compactado en óptimas condiciones sea impermeable a los gases.

Al encerrar los desechos sólidos en una capa compactada de tierra se obtiene también una buena protección contra el fuego. Como la tierra no es combustible, las paredes y el fondo evitan la propagación del fuego a otras celdas. La cubierta superior ofrece menor protección, pues al arder los desechos su volumen se reduce y la cubierta se derrumba. El uso de tierra que al compactarse adquiere una gran permeabilidad es una excelente medida para el control de incendios, ya que reduce la entrada de oxígeno a las celdas.

Para mantener una operación limpia y visualmente agradable debe evitarse que el viento arrastre la tierra. Este problema se presenta cuando se usa arena muy fina sin el suficiente contenido de humedad que le permite evitar ser arrastrada.

Frecuentemente transitan sobre la cubierta vehículos de recolección que entran y salen del área de operación. Cuando esto sucede la cubierta debe ser transitable en toda clase de clima, pues existen materiales que son blandos y resbalosos en clima húmedo.

La tierra usada para la cubierta final debe permitir el crecimiento de vegetación. Esto solo sucederá si tiene la cantidad suficiente de nutrientes y una gran capacidad de almacenamiento de humedad. Para é

ta cubierta se recomienda como mínimo un espesor de 60 cm.

Al hacer una comparación de todas las características que debe poseer la cubierta para desempeñar adecuadamente sus funciones nos damos cuenta que hay algunas contradicciones. Para poder ser transitable debe estar bien drenada, ya que de otra manera los vehículos se "atacarían". Por otra parte, su permeabilidad debe ser baja si se desea mantener seco el relleno, evitar el fuego e impedir la salida de los gases. Estas diferencias pueden eliminarse colocando dos tipos de tierra, una que permita la circulación de los vehículos y otra debajo de ella que cumpla con las demás características. Cuando, por el contrario, se desea que los gases escapen por la cubierta, la tierra usada permitirá también la entrada de agua, por lo que hay que prever una abundante formación de lixiviado; - por ésta razón es recomendable tener un sistema de colección y tratamiento de él. En este caso se usa tierra con baja capacidad de almacenamiento de humedad y bajo grado de compactación.

Existen muchas clases de tierras capaces de satisfacer los requisitos mencionados anteriormente. Las diferencias mínimas en tamaño de partículas y mineralógicas provocan grandes diferencias en la conducta posterior de la cubierta. Además, si con una misma clase de tierra se usan diferentes técnicas de distribución y compactación se pueden obtener comportamientos muy diferentes. Como ejemplo se puede mencionar el conte

nido de humedad durante la colocación de la cubierta. Este es un factor crítico, ya que influye en la densidad de la tierra, su fuerza y su porosidad.

Es muy conveniente hacer un muestreo y clasificación de la tierra disponible en el sitio donde se planea la construcción del relleno. Esto puede lograrse perforando o excavando. Con esto se puede hacer una estimación de la cantidad de tierra de que se dispone para ser usada como cubierta, así como de la profundidad de la excavación para el relleno.

### 3.2 TIPO DE TERRENO

Un relleno sanitario se puede construir en casi cualquier tipo de terreno, solo que en algunos casos se requiere de una serie de adaptaciones que lo hacen alcanzar costos elevados. Un terreno plano o con declives leves es bastante adecuado, ya que no está sujeto a inundaciones. El inconveniente aquí es que esta clase de terreno es muy usado para la construcción de industrias o granjas, lo que provoca que sus precios sean bastante elevados.

Los cañones y barrancas son también muy útiles, ya que hay capacidad para una gran cantidad de desechos sin necesidad de excavar. En este caso encontramos también inconvenientes, el primero sería que -

la tierra para la cubierta se tendría que transportar desde otro sitio, el otro sería que el origen de una barranca es la erosión de aguas superficiales como arroyos o ríos, al construir el relleno se correría el riesgo de la presencia de grandes cantidades de agua que estarían tomando su cauce natural, por lo que habría que tomar medidas adecuadas para evitar inundaciones.

Existen muchas depresiones hechas por el hombre que pueden usarse como minas a cielo abierto, canteras, minas de arena, etc. Todos estos lugares normalmente son inútiles, pero una vez terminado el relleno algunos de ellos pueden ser de gran utilidad e incluso pueden llegar a tener precios elevados. En algunos casos se puede tener la suerte de encontrar formaciones impermeables, pero cuando esto no sucede (como en el caso de las minas de arena) puede resultar muy caro colocar una capa de material impermeable que cubra todas las fracturas y porosidad presentes. En este tipo de zonas es mucho muy importante el estudio del suelo ya que existen grandes probabilidades de contaminación del agua y de emisión de gases.

## C A P I T U L O I V

### CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO

El diseño de un relleno sanitario requiere del desarrollo de una descripción detallada y de planos que señalen los pasos a seguir -- para lograr una disposición segura y eficiente de diferentes cantidades y tipos de desechos sólidos. El diseñador debe calcular los requerimientos volumétricos, indicar las mejoras a realizar en el terreno como cercas, limpieza del terreno, construcción de edificios y caminos, etc. Además, debe seleccionar todo el equipo necesario para la operación diaria según el método escogido. También debe prever los métodos de con---trol de la contaminación del agua y del movimiento de los gases, debe - proponer un uso específico para el terreno una vez terminado el relleno y además determinar los costos y los gastos de operación para la vida - útil del relleno.

#### 4.1 S E L E C C I O N D E L T E R R E N O

Para determinar la conveniencia de un terreno para utilizarlo como relleno sanitario se tienen que evaluar muchos factores. Las - personas que hagan esta determinación deben poseer conocimientos de --

los problemas de sanidad y molestias públicas que origina el tratamiento incontrolado de residuos, los procedimientos operativos, las posibilidades de los equipos que se pueden emplear, los problemas climatológicos, la hidrografía, el uso futuro de los terrenos, la situación respecto a viviendas e industrias, disponibilidad de materiales de recubrimiento, distancias que deben recorrer los transportes de desechos, la reglamentación urbanística, etc.

La superficie de terreno que se necesita para un relleno sanitario así como su vida útil se pueden calcular con bastante exactitud en base a la producción de residuos, la compresión a la que se someterán, la densidad una vez compactados y la cantidad de asentamiento que se espera una vez terminado el relleno. La relación entre la cantidad de desechos sólidos y el volumen de material de recubrimiento normalmente está entre 4:1 y 3:1 . La relación de compactación (volumen de residuos recibidos y volumen de residuos comprimidos) varía entre 1:1 y 3:1 , según el tipo de residuos, el procedimiento de compresión en el relleno, el número de capas o niveles y la facilidad de compactación de la tierra subyacente.

La tierra para recubrimiento llevada al emplazamiento o excavada en él que no sea utilizada también ocupará espacio, el cual también debe tomarse en cuenta. Esto no debe provocar una limitación en -

la cantidad de tierra, pues podría originarse una operación inadecuada y antihigiénica.

#### 4.2 ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO

El acondicionamiento de un terreno y la calidad con la que se haga son factores fundamentales en el éxito o fracaso de una operación de relleno sanitario. Este acondicionamiento puede ser tan simple como limpiar de arbustos, árboles y otros obstáculos que impidan la libre circulación de vehículos y los trabajos de rellenado o puede involucrar la construcción de caminos, edificaciones y otros tipos de instalaciones. La magnitud del acondicionamiento depende de la naturaleza y situación del terreno, de la importancia de la operación y, por supuesto, de la cantidad de dinero disponible.

Es muy importante que después de la selección y antes del acondicionamiento del terreno se haga un estudio técnico de él. Como primer paso se recomienda hacer un reconocimiento topográfico detallado con sus respectivos planos, a una escala adecuada y con líneas de nivel cada 0.5 metros. Este estudio nos permitirá planear con más detalle la construcción de caminos de acceso, la altura del relleno, donde apilar el material de recubrimiento y en que cantidades, cuál es el --

drenaje más adecuado, que método de relleno es más conveniente usar, - cuál será la vida útil del relleno y en general el plan de operación - una vez que esté funcionando.

#### 4.2.1 LIMPIEZA DEL TERRENO

La primera parte en la limpieza de un terreno es la eliminación de la hierba, arbustos y árboles que puedan impedir el trabajo en la zona. Los árboles que no puedan arrancarse deberán cortarse lo más cerca posible del suelo, de modo que no interfieran en las operaciones. De ser posible, deben dejarse zonas arboladas o alguna clase de vegetación que sirva como barrera contra el viento y también para dar una -- mejor apariencia al lugar. Cuando se trate de una extensión grande debe de evitarse limpiar grandes zonas de una sola vez, ya que podría -- provocarse la presencia de la erosión innecesariamente.

#### 4.2.2 CAMINOS

Los caminos son una parte muy importante en el funcionamiento de un relleno sanitario. Es muy conveniente construir un camino permanente, sobre todo si el volumen de las operaciones será grande, también existirán varios caminos temporales que se irán construyendo conforme vaya cambiando el frente de trabajo. El diseño de los caminos -- dependerá del volumen de tráfico y del tipo de vehículos, ya que si se tiene un volumen grande de tráfico el camino puede requerir ser de dos carriles, si los vehículos son pesados o ligeros el material para cons

truir el camino cambia, etc. Algo importante es no exceder las limitaciones de los vehículos usados, pues un camión cargado no puede subir por cierta clase de pendientes. Se recomienda para estos casos que las pendientes de subida sean menores del 7% y las de bajada menores del 10%. El costo inicial de un camino permanente será mayor que el de uno temporal, pero esto se compensa con los ahorros de mantenimiento y reparaciones de los vehículos que por ahí transiten. Cuando un camino temporal se construye con tierra se presentan diversos inconvenientes, como puede ser la formación de lodo en época de lluvias. Esto puede evitarse con una capa de grava perfectamente nivelada, que permite un drenaje bastante efectivo. Otro inconveniente de los caminos temporales es el polvo que se levanta con el viento, lo cual puede evitarse regando periódicamente con agua o aceite.

#### 4.2.3 BASCULAS

Si se quiere lograr una operación de un relleno sanitario con la mayor eficacia posible es muy útil el uso de una báscula, ya que con ella se tiene un control más efectivo de las cantidades de desechos recibidos. Un relleno sanitario puede funcionar sin una báscula pero su ayuda en el momento de determinar costos y vida útil es fundamental.

#### 4.2.4 INSTALACIONES

Es muy importante que hasta en el relleno sanitario más pe

queño existan instalaciones sanitarias, para el personal, para el almacenamiento y mantenimiento del equipo. Al diseñar y escoger la localización de estas instalaciones debe tomarse en cuenta el movimiento de los gases y el asentamiento provocado por la descomposición. Es recomendable que las instalaciones sean temporales si la operación va a durar menos de diez años.

#### 4.2.5 SERVICIOS

En un relleno sanitario debe disponerse de servicio eléctrico, agua y servicios sanitarios. Cuando el terreno se encuentra en un sitio retirado el agua se puede transportar en pipas y la corriente eléctrica obtenerse por medio de un generador portátil, ahorrándose con esto el gasto en las tuberías y en las líneas para la corriente. Si se instalan sanitarios químicos puede suprimirse también el gasto que implica la extensión de el drenaje.

#### 4.2.6 CERCAS

Las cercas en un relleno sanitario pueden tener diversas funciones: ocultar las operaciones, controlar la entrada y evitar que el viento pueda arrastrar los desechos.

Al ocultar las operaciones del relleno sanitario a la vista del público se obedece fundamentalmente a razones de estética, las cuales no existen cuando la localización es en sitios alejados de lugares habitados.

Una cerca periférica, además de delimitar los límites de propiedad, ayuda a controlar la entrada de personas y animales que pudieran entorpecer el buen desarrollo de las operaciones de relleno. Las cercas que se usan para evitar que el aire arrastre los desechos normalmente son portátiles, ya que la zona de trabajo varía constantemente y algunas veces también es variable la dirección del viento. El problema del viento se presenta más frecuentemente cuando se escoge alguna llanura, por lo que deben evitarse lo más posible estos sitios, pero en caso que fuera la única posibilidad se puede recurrir al método de trinchera, del cual hablaré más adelante.

#### 4.3 CONTROL DE AGUAS SUPERFICIALES

Es muy importante desviar las corrientes superficiales de la zona en donde se construye el relleno sanitario. Cuando un relleno se está llevando a cabo en hondonadas, barrancas o cañones deben entubarse las corrientes de modo que no entren en contacto con los desechos. También deben construirse zanjas o canales que desvíen los escurrimientos de los alrededores. En algunos casos sería de bastante utilidad el uso de bombas para desalojar el agua, pero su costo y mantenimiento les -- hacen elevar los costos, por lo que si se usan es solo temporalmente.

La cubierta final del relleno debe tener una pendiente que permita un fácil escurrimiento del agua de la lluvia. La pendiente dependerá de la resistencia del material a la erosión y del uso que se vaya a dar al relleno terminado. Debe tenerse cuidado con el agua que escurra por la cubierta del relleno, ya que puede arrastrar sólidos -- que podrían resultar nocivos para alguna corriente en la que fueran -- descargados.

#### 4.4 PROTECCION DEL MANTO FREATICO

Un aspecto básico en el diseño y funcionamiento del relleno sanitario es el impedir que exista algún contacto entre los desechos y las corrientes o depósitos subterráneos de agua. No existe una regla general que indique la distancia a la que deben estar los rellenos sanitarios de un manto acuífero. Normalmente es suficiente una distancia de 1.5 m. para remover la cantidad suficiente de orgánicos de fácil -- descomposición y de bacterias coliformes para hacer al líquido bacteriológicamente seguro. Por otra parte, los contaminantes de tipo mineral pueden viajar grandes distancias a través del suelo o de formaciones rocosas.

Además de otras consideraciones, el diseñador debe de eva---

luar:

- 1) el uso actual y proyectado de las reservas de agua en la zona
- 2) el efecto del lixiviado en la calidad del agua del manto freático
- 3) la dirección de las corrientes subterráneas y
- 4) la interacción del manto acuífero con otros y con aguas superficiales.

La construcción de un relleno sanitario puede provocar un aumento hasta de más de un metro en el nivel real del manto freático, cuando esto sucede es bastante probable que el lixiviado entre en contacto con el agua, formando en algunos casos manantiales.

Para controlar el movimiento de los fluidos puede utilizarse una capa de material impermeable. Es muy común, por ejemplo, el uso de una capa de arena arcillosa bien compactada hasta un espesor que puede variar de 0.3 hasta 1 metro. Pueden utilizarse también materiales sintéticos como el polietileno o el cloruro de polivinilo, colocados en varias capas. (Si se desea controlar el lixiviado y también el movimiento de los gases es recomendable dar preferencia al PVC, ya que es menos permeable a los gases). Las membranas se deben poner con mucho cuidado para evitar perforaciones y rupturas, colocando además una capa de arena a cada lado. Para controlar a los fluidos se puede usar --

también como impermeabilizante el chapopote, que es barato y bastante efectivo.

El uso de barreras impermeables requiere de algún método de extracción del líquido contenido dentro de ellas. En el caso de una barranca o cañada, la salida de los líquidos sería el punto por el cual escurriría normalmente el agua por esa zona. En otros casos podría recurrirse a la succión de los líquidos con bombes o también colocando tubos de salida en el fondo y aprovechando la fuerza de gravedad.

Frecuentemente es posible controlar el nivel del manto freático usando drenajes, canales o zanjas para canalizar al agua subterránea hacia algún depósito superficial o al subsuelo en una zona de menor elevación. Hacer esto requiere de una persona con amplios conocimientos de las permeabilidades del suelo y del sistema de flujo de las corrientes subterráneas en el área. Debe tenerse muy en cuenta -- que aunque logre mantenerse al relleno aislado del agua subterránea, en la mayoría de los climas se infiltrará agua por la superficie del relleno, formando un lixiviado y filtrándose al subsuelo con el riesgo de contaminación del manto freático. Por ésta razón hay que tener cuidado con las regiones constituidas por materiales extremadamente permeables.

Existen pocas investigaciones que nos indiquen el tipo de tratamiento que puede darse a un lixiviado y su costo. Por análisis de muestras de lixiviados de diferentes rellenos se sabe que un lixiviado es un desecho líquido bastante complejo con características variables. Dado que la mayoría de los contaminantes en un lixiviado son solubles en agua es muy probable que se requieran métodos de tratamiento químicos y biológicos convencionales, los cuales deberán ser efectivos.

Para ayudar a establecer si un relleno sanitario está creando problemas de contaminación en el agua superficial y subterránea pueden usarse pozos de observación y estaciones de muestreo para monitorear periódicamente la calidad del agua.

#### 4.5 MOVIMIENTO DE LOS GASES

Una parte importante en el diseño de un relleno sanitario es el control del movimiento de los gases de descomposición, principalmente dióxido de carbono y metano, aunque también existen el sulfuro de hidrógeno y otros gases.

El metano ( $\text{CH}_4$ ) es un gas incoloro e inodoro que es altamente explosivo en concentraciones del 5 al 15% en presencia de oxígeno.

Se han presentado casos de metano producido en un relleno que se acumula en drenajes o construcciones cercanas, provocando explosiones. - El gas de un relleno también puede matar a la vegetación en los alrededores, debido a la eliminación del oxígeno en la zona de las raíces. El dióxido de carbono ( $CO_2$ ) es también un gas incoloro e inodoro, pero no ayuda las combustiones. Es aproximadamente 1.5 veces más pesado que el aire y es soluble en agua. Con ella forma ácido carbónico, el cual puede disolver diferentes minerales, en especial los carbonatos - que se encuentran en los desechos, tierra y rocas. Cuando esto sucede el contenido de minerales del agua (dureza) aumenta, éste fenómeno se ha observado en pozos cercanos a un relleno sanitario.

Cuando los gases se ventilan libremente hacia la atmósfera no existe ningún problema, pero cuando se encuentran con capas impermeables de tierra, los gases intentan escapar desplazándose lateralmente a través de materiales más permeables.

En muchos casos, las condiciones naturales del terreno ayudan a controlar el movimiento de los gases, de no ser así existen métodos para controlarlo. A continuación se mencionan algunos ejemplos.

#### 4.5.1 METODOS PERMEABLES

El movimiento lateral de los gases se puede prevenir usando un material que bajo cualquier circunstancia sea más permeable que la

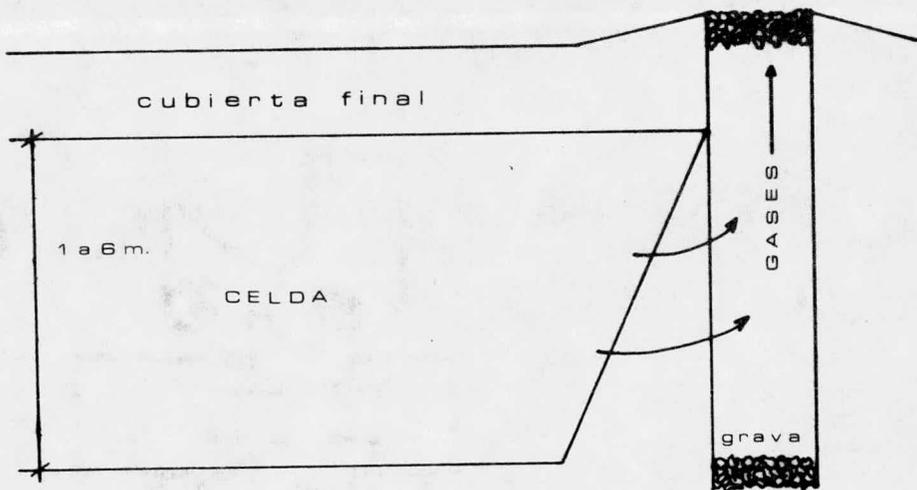
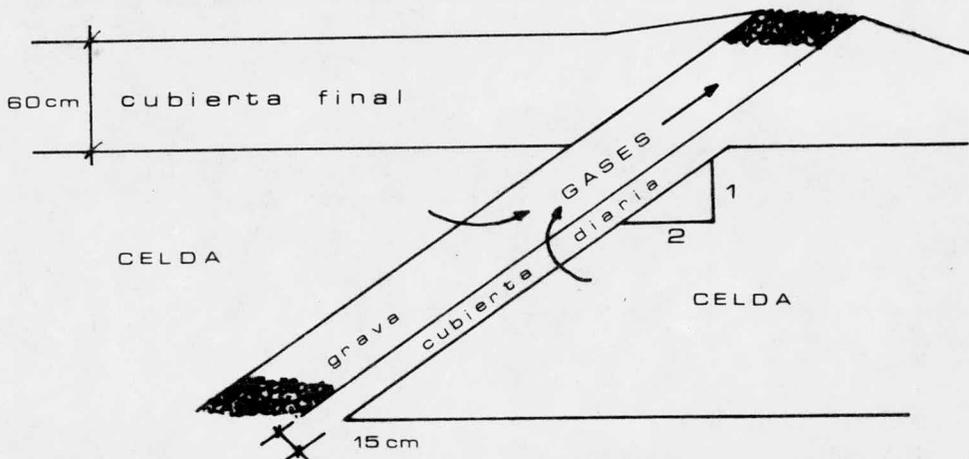


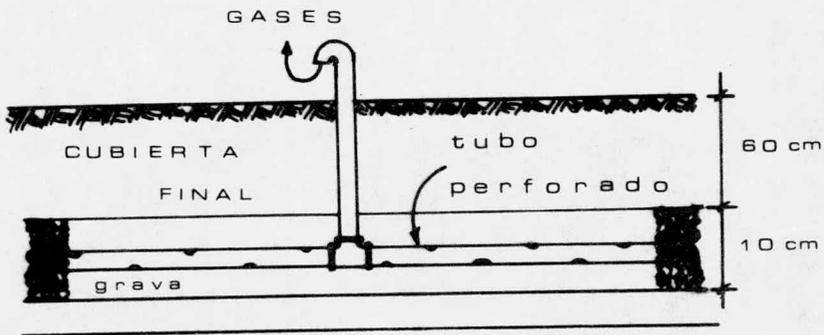
FIG. 2

tierra de la zona de trabajo. En este caso se usan respiraderos o ---  
trincheras llenas de grava como lo muestra la figura 2 . Es conveniente  
te que estos respiraderos sean más profundos que el relleno, para aseg  
gurar que los gases que fluyen lateralmente sean interceptados. Estos  
respiraderos deben tener una cierta pendiente y drenaje natural para  
evitar que la tierra adyacente y la arrastrada por el agua los lle---  
guen a taponar. La superficie del respiradero debe mantenerse libre -  
también de tierra y vegetación, ya que esta humedad constituiría una  
barrera al paso de los gases.

Otro método consiste en insertar en la cubierta final tubos  
de ventilación (figura 3). En este método se colocan tubos colectores  
perforados enterrados en una capa de grava colocada en la parte supe-  
rior de los desechos. Los tubos van conectados a uno vertical que sa-  
le a la atmósfera. Los tamaños y espaciamientos dependen de la canti-  
dad de gases producidos, del peso total de los desechos y de la per---  
meabilidad de la tierra de la cubierta y de los alrededores. Los tu---  
bos de ventilación no deben colocarse cerca de construcciones, cuando  
esto sea inevitable es conveniente que las salidas estén a una altura  
superior a la de los techos.

#### 4.5.2 METODOS IMPERMEABLES

El movimiento de los gases a través de la tierra puede tam-



CELDA

---

FIG. 3

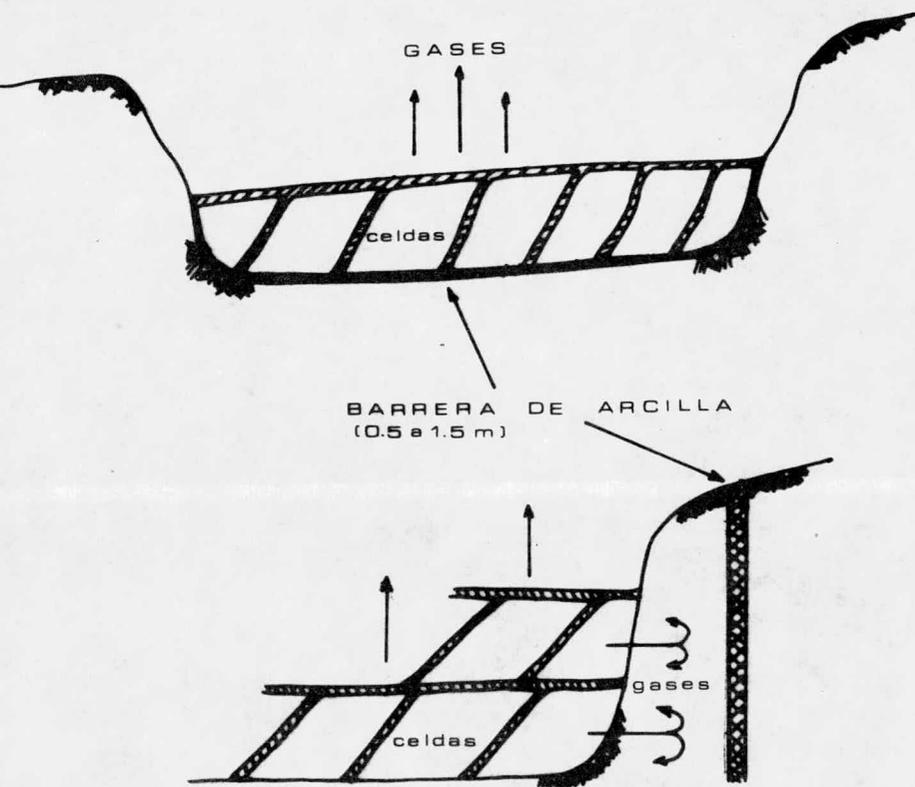


FIG. 4

bién controlarse usando materiales que sean más impermeables que la tierra que rodea al relleno.

El método más común, y posiblemente el más práctico, es usando arcilla compactada, la cual debe mantenerse húmeda para evitar que se contraiga o sufra cuarteaduras. Esta barrera puede colocarse en el fondo o como pared a un lado (figura 4). El espesor adecuado varía entre 0.5 y 1.5 metros, pero debe ser una barrera perfectamente continua para que su funcionamiento sea adecuado. Su construcción debe llevarse a cabo al mismo tiempo que la del relleno, ya que si se construye anticipadamente con el aire se reseca y se presentan los problemas ya mencionados anteriormente.

#### 4.6 METODOS DE RELLENADO

El diseñador de un relleno sanitario debe señalar el método de construcción y los procedimientos a seguir para lograr el buen funcionamiento del relleno, ya que no hay un método ideal que funcione en cualquier sitio. El método elegido depende del sitio y del tipo de desechos que se vayan a manejar.

Existen dos métodos básicamente de construcción de un relleno sanitario: el método de área y el de trinchera.

Generalmente el método de trinchera se usa cuando el nivel del agua subterránea es bajo y la capa de tierra en el suelo tiene un espesor mayor de dos metros. Su empleo es más adecuado en terrenos -- planos o con ligeros declives. El método de área se puede aplicar casi en cualquier topografía y se usa frecuentemente cuando se tienen grandes cantidades de desechos sólidos. Existe una tercera opción, que es una combinación de los dos métodos anteriores.

#### 4.6.1 CONSTRUCCION DE LAS CELDAS

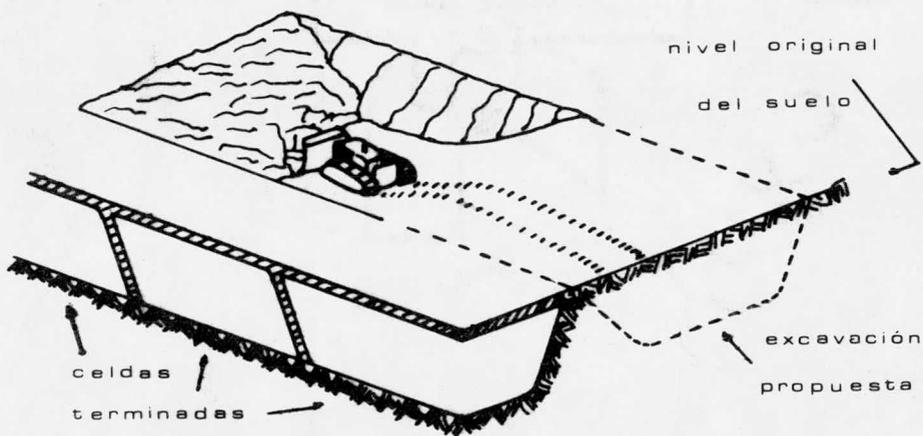
Los dos métodos anteriores tienen una característica en común, que es la construcción en base a celdas. Los desechos sólidos recibidos se esparcen y compactan dentro de una área determinada. Al final de cada día o varias veces durante él, se cubren con una delgada capa de tierra, la cual también es compactada. Los desechos compactados y la cubierta de tierra constituyen lo que llamamos celda. Varias celdas de la misma altura constituyen un nivel y varios niveles van a formar parte de un relleno terminado.

Las dimensiones de una celda dependen del volumen de los desechos ya compactados y este, a su vez, depende de la densidad de los desechos sólidos. La densidad de los sólidos ya compactados en una celda debe ser de aproximadamente  $500 \text{ Kg/m}^3$ , pero puede tenerse un valor considerablemente mayor si se tienen grandes cantidades de mate-

riales de demolición, vidrio o materiales inorgánicos compactos. La densidad puede tener también valores bajos, esto sucede cuando en los desechos hay un predominio de ramas de árboles y arbustos, plásticos, fibras sintéticas, hule, etc. Cuando estos materiales se encuentran libres de la acción de la fuerza usada para compactarlos, presentan una gran tendencia a recuperar su tamaño original, por esta razón se deben colocar en capas de 0.5 m de espesor y después cubiertas con 0.15 m de tierra. Después de esto se colocan y compactan capas normales de desechos sólidos mezclados. Con todo éste peso se logra mantener a los materiales elásticos razonablemente comprimidos.

No existe una regla definida acerca de la altura adecuada de una celda. Algunos diseñadores piensan que deben tener una altura máxima de 2.5 m, ya que con esta altura no habrá problemas de asentamiento. Cuando se dispone de grandes cantidades de terreno y de material para la cubierta la restricción de 2.5 m puede respetarse, pero cuando sucede lo contrario y son operaciones a gran escala suelen construirse celdas hasta de 10 m. En lugar de decidir una altura arbitrariamente, el diseñador debe eliminar la mayor cantidad posible de desechos con el menor volumen de material de cubierta.

Los requerimientos volumétricos del material para recubrir dependen de la superficie de desechos que se desee cubrir y del espe-



METODO  
DE  
TRINCHERA

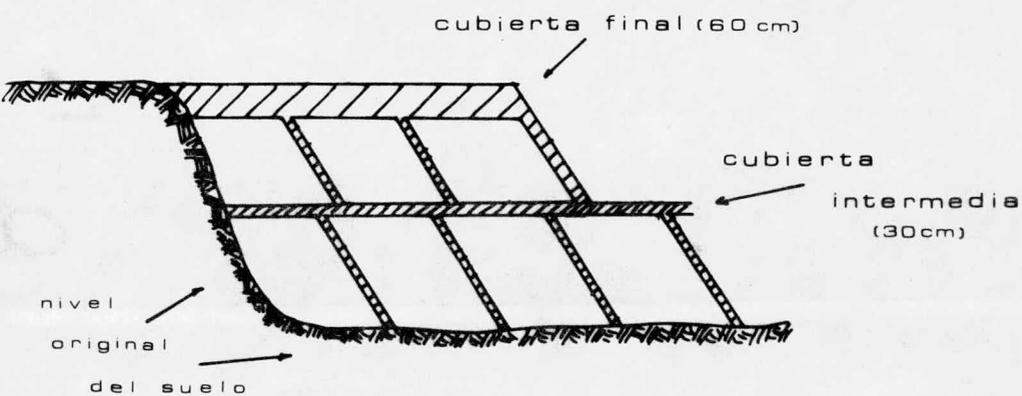
FIG.5

sor de la tierra necesario para desempeñar diversas funciones específicas. Como es de esperarse, la configuración de las celdas afecta -- grandemente al volumen del material de recubrimiento, por lo que el -- área por ser cubierta se debe mantener en un valor mínimo.

#### 4.6.2 METODO DE TRINCHERA

Este método consiste en la excavación de trincheras en las -- cuales se esparcen y compactan los desechos, para ser posteriormente cubiertos con el material excavado. Aquí se dispone de grandes cantidades de material de recubrimiento, ya que la cantidad excavada es mucho mayor que la usada. La tierra sobrante se puede vender para diversos usos o se puede almacenar para poner una cubierta final de gran -- espesor al concluir las operaciones. Hay ciertas clases de terrenos, como el arcilloso, que son ideales para la aplicación de este método, ya que permiten la construcción de paredes muy delgadas entre una --- trinchera y la otra. El fondo de las trincheras debe tener una ligera pendiente que permita un drenaje adecuado de las celdas; la misma precaución debe tomarse con la cubierta para evitar la entrada de agua -- por la superficie. La desviación del agua que escurre por la superficie se puede lograr, con la ayuda del material excavado, construyendo pequeñas barreras temporales.

La trinchera puede ser tan profunda como lo permitan la tie-



METODO  
DE  
AREA

FIG. 6

rra y el nivel de las aguas subterráneas y debe tener por lo menos el doble del ancho del equipo que se piense usar en la compactación.

#### 4.6.3 METODO DE AREA

En este método, los desechos se esparcen y compactan sobre la superficie original del suelo, para posteriormente ser recubiertos con tierra. Para poder utilizarlo se requiere de una excavación cercana que sea capaz de proporcionar la cantidad de tierra suficiente para el relleno, en forma práctica y económica. En este caso se pueden presentar problemas, causados por el tráfico de los vehículos con el material para recubrimiento y los que transportan los desechos. Esto se puede evitar asignándoles diferentes caminos o acumulando anticipadamente grandes cantidades de tierra (Esto sólo es posible cuando se tiene una extensión de terreno lo suficientemente grande).

#### 4.6.4 COMBINACION DE METODOS

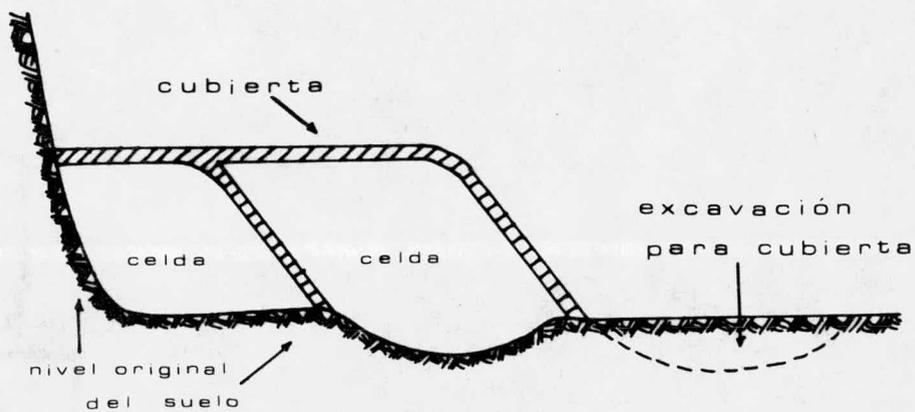
La operación de un relleno sanitario no necesariamente debe efectuarse usando un sólo método. Siempre existe la posibilidad de usar ambos o combinaciones de ellos, lo cual le da una gran flexibilidad. Los métodos o combinaciones dependen fundamentalmente de las características del terreno.

Un caso típico de lo que es la combinación de métodos es el

método de excavación progresiva, el cual se caracteriza por su continuidad. La operación se inicia depositando los desechos sobre el nivel original del suelo y excavando el material de recubrimiento directamente delante del frente de trabajo. Debido a ésta excavación, la siguiente celda quedará ligeramente debajo del nivel del suelo, - al igual que las posteriores. Este método nos permite un aprovechamiento del terreno con mayor eficiencia que la obtenida por el método de área, ya que no es necesario traer de otro sitio el material de recubrimiento, además de que se ocupa menos espacio al quedar parte de los desechos bajo el nivel del suelo. La única restricción que se presenta es que sólo es posible la construcción de un solo nivel.

En algunas ocasiones se dispone de un terreno que tiene zonas con una gruesa capa de tierra y otras en las que la tierra tiene poco espesor. En éstos casos es conveniente usar el método de trinchera en donde la tierra es profunda y usar la tierra sobrante para aplicar el método de área en las demás zonas. Una vez completado un nivel se puede continuar sobre de él usando exclusivamente el método de área, con material de recubrimiento "importado".

Siempre se debe tener en cuenta que la superficie final no debe permitir el encharcamiento, por lo que debe considerarse en el diseño el posible asentamiento causado por la descomposición. La pen



METODO DE  
EXCAVACION  
PROGRESIVA

FIG.7

diente de la cubierta final debe ser diseñada en forma tal que permita un buen escurrimiento, pero no al grado de favorecer la erosión.

#### 4.6.5 SUMARIO DE LAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO

El diseño final de un relleno sanitario debe describir detalladamente:

- a) todas las instalaciones para la operación y para los empleados
- b) procedimientos de operación y su secuencia, requerimientos de equipo y de mano de obra
- c) posibilidades de contaminación y métodos para controlarla
- d) pendiente final y uso planeado para el relleno terminado
- e) estimación de costos para adquirir y operar el sitio propuesto.

El diseñador debe también proporcionar un mapa que muestre la localización del lugar y el área a la que dará servicio y un mapa topográfico que cubra una área hasta una distancia de 300 metros del lugar propuesto. Deben incluirse también mapas adicionales y secciones transversales que muestren las diferentes etapas de la operación (inicial, intermedia y final). Los planos deben detallar también lo siguiente:

- 1.- Caminos de entrada y salida

- 2.- Edificaciones
- 3.- Instalaciones al nivel del suelo y por debajo de él
- 4.- Básculas
- 5.- Instalaciones para el control de incendios
- 6.- Drenaje superficial (natural y construído)
- 7.- Drenaje subterráneo
- 8.- Perfiles del suelo y del lecho rocoso
- 9.- Colección del lixiviado e instalaciones para su tratamiento
- 10.- Aditamentos para el control de gases
- 11.- Construcciones en los alrededores (en una zona de 300 a 400 metros del relleno)
- 12.- Corrientes, lagos, manantiales y pozos en la zona indicada en el punto anterior
- 13.- Dirección de los vientos dominantes
- 14.- Areas por ser rellenadas, incluyendo áreas para desechos especiales y limitaciones en los tipos de desechos de -- que se puede disponer
- 15.- Secuencia de réllenado
- 16.- Entrada(s) a la zona
- 17.- Localización de las cercas

## C A P I T U L O V

### OPERACION DE UN RELLENO SANITARIO

Este aspecto es de gran importancia, ya que aunque se tenga un muy buen diseño todo será inútil si no se construye y opera como se haya planeado. Lo anterior es de especial importancia en un relleno sanitario, dado que se encuentra en construcción hasta el último día en que se deposite la última partícula de desecho. La construcción en base a un plan diario de trabajo de acuerdo con el diseño es indispensable en un plan de operaciones.

Un plan de operaciones es esencialmente un compendio de las especificaciones para la construcción y debe incluir los siguientes datos:

- 1.- Horas de operación
- 2.- Procedimientos para efectuar mediciones
- 3.- Flujo del tráfico y procedimientos de descarga
- 4.- Designación de áreas específicas para ciertos desechos
- 5.- Métodos de manejo y compactación para diferentes clases de sólidos
- 6.- Colocación del material de recubrimiento

- 7.- Procedimientos para mantenimiento
- 8.- Operaciones en climas adversos
- 9.- Control de incendios
- 10.- Selección de desperdicios útiles (si es permitida)

Una operación adecuada requiere de un plan que señale los procedimientos rutinarios y anticipe las situaciones anormales. Debe permitir también la continuidad en las operaciones, aun cuando haya cambios de personal. Cuando ésto suceda, los supervisores y empleados nuevos deben saber qué se esta haciendo y porqué. Además el plan de trabajo debe permanecer abierto a posibles revisiones y modificaciones y cuando éstas se presenten deben darse a conocer - junto con las razones que hubo para efectuarlas.

El plan de trabajo es una herramienta muy útil en el en-trenamiento de nuevos empleados, para definir sus labores y para - proporcionarles una visión del trabajo de los demás. En ésta forma el empleado entenderá mejor toda la operación y podrá desempeñar - diversas labores en casos de emergencia.

## 5.1 HORAS DE OPERACION

Las horas de operación de un relleno sanitario dependen

del envío de los desechos y generalmente esto se hace durante las horas normales de trabajo. Cuando se trata de desechos urbanos puede darse el caso de recolección de basura durante las 24 horas en ciudades grandes. En estos casos no es conveniente que el relleno sanitario se encuentre en una zona residencial, ya que puede ocasionar molestias.

Es muy conveniente la colocación de un aviso en la entrada señalando las horas de operación y la clase de desechos que no son aceptados.

## 5.2 PESADO DE LOS DESECHOS

La eficiencia de las operaciones de rellenado y compactado puede determinarse adecuadamente si se conocen la cantidad de desechos, la cantidad de material de cubierta y el volumen ocupado cuando ya se ha compactado y recubierto. Estos valores nos ayudan también a determinar la densidad del relleno, permitiéndonos hacer una estimación del probable asentamiento. Los datos de peso y volumen pueden servir también en el diseño de nuevos rellenos y en la predicción de la capacidad restante de un relleno en operación.

Existe la posibilidad de tener un relleno que maneje can-

tidades de 1000 toneladas o más diariamente. Aquí surge la necesidad de un sistema de pesaje que proporcione los datos del peso de los camiones con una precisión adecuada y que además lo haga con rapidez para permitir un flujo constante de los vehículos.

### 5.3 TRAFICO Y DESCARGA

El flujo de vehículos en el área de trabajo puede afectar la eficiencia de las operaciones diarias. Este problema puede eliminarse con el uso de una señalización adecuada para evitar embotellamientos y que los desechos sean descargados en lugares indedidos. Si se tienen áreas de trabajo diferentes para diferentes tipos de desechos debe quedar claramente señalado.

El envío de los desechos puede hacerse en diferentes clases de vehículos, los cuales pueden clasificarse en dos grandes grupos: de descarga manual y de descarga automática. La diferencia entre estos dos grupos será el tiempo utilizado en la descarga. Nunca debe permitirse que los vehículos de descarga manual retrasen a los de descarga automática, en caso de tener un gran número de los de descarga manual es conveniente asignarles una zona especial para evitar retrasos en las operaciones.

#### 5.4 MANEJO DE LOS DESECHOS

Los desechos se originan en zonas residenciales, establecimientos comerciales, operaciones municipales, industrias, granjas y diferentes instituciones. Algunos pueden requerir métodos especiales de manejo y disposición en el relleno. Al diseñar un relleno se deben conocer los diferentes tipos de desechos que estarán involucrados y prever su disposición. Siempre deberán excluirse los materiales que no puedan enterrarse con seguridad.

##### 5.4.1 DESECHOS RESIDENCIALES, COMERCIALES E INDUSTRIALES

Normalmente estos desechos se comprimen con una gran facilidad. Contienen diferentes clases de materiales, como papel, latas, botellas, cajas de cartón y madera, plásticos, metales, desperdicios de alimentos, rocas y tierra. Cuando se tienen cajas, recipientes de plástico y de vidrio, latas, ramas de arbustos y de árboles en la parte superior del desechos, sólo se necesita una pequeña presión para comprimirlos; en cambio, si se encuentran incorporados a la masa de los desechos estos objetos actúan como cojines o formando cavidades que protegen a los materiales fácilmente compactables del peso del equipo de trabajo.

Se pueden reducir los inconvenientes anteriores, logrando una gran disminución en el volumen. La técnica consiste en esparcir los desechos en capas de 50 cm o menos, pasando de 2 a 5 veces la máquina que se esté usando para compactar.

#### 5.4.2 DESECHOS VOLUMINOSOS

En ésta categoría consideramos las carrocerías de automóviles, desechos de demolición y de construcciones, raíces y troncos de árboles. En el caso de raíces y troncos de árboles no es posible lograr una reducción de volumen que sea significativa, tampoco con los desechos de demolición y construcción, pero en el caso de las carrocerías o de muebles sí es posible. Algunas veces podría ser necesario el uso de maquinaria bastante pesada o bien auxiliarse de una superficie dura para comprimir y después incorporar a los demás desechos. Pudiera suceder que éstos materiales no sean degradables o que no se degraden con la misma facilidad que otros. Aquí puede presentarse un asentamiento irregular del terreno, por lo que debe evitarse al máximo mezclar unos con otros y si no es posible separarlos entonces deben señalarse las zonas en donde quedaron. Es conveniente cubrir al final del día totalmente a los desechos voluminosos, no por que puedan ser malolientes, sino porque pueden servir como refugio a las ratas y otras plagas.

Los desechos de demolición y construcción, como pedazos de concreto, asfalto, ladrillos y yeso, se pueden separar y usar en la construcción de caminos.

#### 5.4.3 DESECHOS DE DIFERENTES TIPOS DE INSTITUCIONES

Los desechos sólidos de escuelas, asilos y hospitales son usualmente muy fáciles de compactar y pueden manejarse de la misma manera que los caseros y comerciales, por lo que se envían juntos. Si se envían por separado los desechos de un hospital se debe proceder inmediatamente a esparcirlos, compactarlos y cubrirlos, ya que podrían contener organismos patógenos.

#### 5.4.4 DESECHOS DE PROCESOS INDUSTRIALES

Existe una enorme variedad de desechos industriales, con diferentes propiedades físicas, químicas y biológicas, por lo que es difícil generalizar acerca de su manejo. La mejor fuente de información sobre sus características es la industria que los produce.

Es muy importante determinar la influencia de este tipo de desechos sobre el medio ambiente y si llegara a determinarse que algún desecho no puede enterrarse, debe separarse de los demás desechos e informarse a la industria que los envió, ya que también -

podría ponerse en peligro la salud y seguridad de los trabajadores.

Los desechos industriales enviados a un relleno pueden estar en forma de líquidos, semi-líquidos, láminas, granulados, ralladuras, virutas, polvos y productos con defectos de fabricación de diferentes formas y tamaños. Su disposición en un relleno sanitario depende de las condiciones del sitio y de si son química y biológicamente estables.

Los desechos líquidos y semi-líquidos pueden depositarse en un relleno sanitario si se considera que no existe ningún peligro, pero deben mezclarse bien con sólidos que estén lo más secos posible.

Los materiales muy ligeros pueden ser arrastrados por el aire, por lo que se deben cubrir lo más rápido que sea posible; algunas veces puede ser conveniente rociarlos con agua, después de analizar los posibles efectos de ella en el relleno.

Las láminas grandes de metal, plástico y madera deben alinearse paralelamente unas a otras, pues si se dejan en forma desordenada pueden quedar huecos que impidan una buena compactación y provoquen posteriores asentamientos del terreno.

Los gránulos, ralladuras, limaduras y polvos pueden ser un peligro para la salud de los operadores y demás personal si son --

arrastrados por el aire, además de provocar abrasión y corrosión - en el equipo por lo que deben enterrarse de inmediato. Los trabajadores deben usar anteojos, caretas y equipo protector para la piel y el sistema respiratorio.

Los productos con defectos de fabricación se deben incorporar a los demás desechos también de inmediato, para evitar que alguna persona los tome, corriendo alguna clase de riesgo.

#### 5.4.5 DESECHOS VOLATILES E INFLAMABLES

En éste grupo podemos incluir a las pinturas, residuos de - pinturas, líquidos para lavado en seco y ralladuras de magnesio. - Se pueden encontrar en forma sólida o líquida y también como polvos y provienen de procesos industriales y desechos comerciales. - Si no son altamente inflamables se pueden mezclar con los demás -- desechos, pero si lo son se deben excluir del relleno o enterrarse en una área específica, que esté claramente señalada y localizada al finalizar las operaciones del relleno sanitario. Por supuesto - que la prohibición de fumar y de flamas en las cercanías debe de - existir siempre.

#### 5.4.6 LODOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

Los lodos filtrados y digeridos en las plantas de trata---

miento de aguas se pueden depositar en un relleno sanitario. En la mayoría de los casos se depositan normalmente en el relleno, pero deben cubrirse de inmediato. Si su contenido de humedad es relativamente alto se deben mezclar con los otros desechos, para evitar una zona de formación de lixiviado. Los lodos del drenaje y de fosas sépticas nunca se deben depositar en un relleno sanitario.

#### 5.4.7 RESIDUOS Y CENIZAS DEL HUMO DE LOS INCINERADORES

Las cenizas del humo de un incinerador son las que se separan de los gases de combustión de él. Esta cantidad de cenizas es cada vez más grande, ya que las leyes de control de la contaminación son cada vez más estrictas. Estas cenizas pueden estar secas o húmedas, dependiendo de cómo se separen de los gases. Si están secas se deben humedecer para evitar que el viento las arrastre y se deben enterrar inmediatamente.

Los residuos de un incinerador son los materiales que permanecen en él cuando la combustión ha terminado. La cantidad de orgánicos susceptibles de descomposición en el residuo de un horno varía grandemente; su humedad y contenido de alimentos puede provocar malos olores y atraer a moscas, aves y roedores, por lo que se recomienda su disposición en un relleno sanitario.

#### 5.4.8 RECIPIENTES DE INSECTICIDAS

Estos recipientes son muy comunes en las zonas agrícolas. Si están vacíos se pueden comprimir y mezclar con los demás desechos, pero si están parcialmente llenos se deben separar de los desechos para evitar una contaminación que podría ser muy peligrosa. Posteriormente se deberá disponer de ellos por los medios que se consideren más convenientes.

#### 5.4.9 DESECHOS RADIOACTIVOS Y EXPLOSIVOS

En un relleno sanitario no deben depositarse desechos radioactivos, en caso de detectarse, deben aislarse los desechos, el transporte y el chofer y tomar las medidas adecuadas para el caso. Rara vez se envían explosivos a un relleno, ya que no son aceptados. En los lugares donde sí se acepten se debe tener especial cuidado en su manejo; así mismo es conveniente señalar perfectamente su localización, sobre todo al final de las operaciones de ese lugar.

#### 5.5 COLOCACION DE LA CUBIERTA

El plan de operaciones debe de especificar qué clase de

tierra se usará como cubierta, en dónde se obtendrá y cómo va a ser colocada sobre los desechos compactados. Las primeras dos especificaciones son determinadas por el diseñador del relleno después de haber hecho una investigación del suelo y de evaluar los requerimientos funcionales del material para la cubierta. Los materiales usados para cubiertas en un relleno sanitario se clasifican en diarios, intermedios y finales; ésta clasificación depende del tipo de tierra y está determinada por su susceptibilidad a la erosión por el viento y el agua y su habilidad para cumplir con ciertos requerimientos funcionales. La cubierta se escogerá de acuerdo al tiempo que permanecerá expuesta a los elementos; en base a esto se selecciona su espesor de acuerdo a la siguiente tabla:

TIPO DE CUBIERTA	ESPESOR MINIMO	TIEMPO DE EXPOSICION
Diaria	15 cm	0 a 7 días
Intermedia	30 cm	7 a 365 días
Final	60 cm	más de 365 días

Es muy importante que el material de cubierta esté siempre perfectamente compactado.

### 5.5.1 CUBIERTA DIARIA

Las funciones más importantes que desempeña la cubierta -- diaria es el control de la basura que sería arrastrada por el viento, el control del fuego y el de la humedad. Estas funciones serán realizadas adecuadamente por una capa bien compactada de 15 cm de tierra. La cubierta se aplicará a los desechos compactados por lo menos al final del día y se deberán cubrir las caras superior y laterales de la celda para dejar expuesto solamente el frente de trabajo, el cual también será cubierto al final del día. No debe quedar ningún desecho expuesto y la cubierta deberá tener una pendiente que ayude al escurrimiento del agua sin erosión y que impida -- los encharcamientos.

### 5.5.2 CUBIERTA INTERMEDIA

Las funciones de esta cubierta son las mismas que las de la anterior, pero incluyen el control de los gases y la posibilidad de servir como base para la construcción de caminos. Se aplica siguiendo las mismas normas de la anterior pero con un espesor mínimo de 30 cm. En ésta cubierta pueden aparecer cuarteaduras provocadas por la pérdida de humedad y el asentamiento en el relleno, -- por lo que es conveniente proporcionarle un mantenimiento periódico.

### 5.5.3 CUBIERTA FINAL

La cubierta final cumple con las mismas funciones que la intermedia y además debe permitir el crecimiento de la vegetación. Es necesaria la colocación de capas de tierra de 60 cm como mínimo, pero el tipo de tierra y el uso planeado para el relleno terminado pueden hacer necesario el uso de capas más gruesas.

Al ser esta cubierta la definitiva, es más importante que en las anteriores darle una pendiente para evitar la erosión por el agua. En la cara superior del relleno esto se logra con una pendiente del 2 al 4 % mientras que en las caras laterales debe ser menor de 1 vertical por 3 horizontales. La distribución topográfica general del relleno se logra mediante una cuidadosa distribución de las celdas pero la cubierta final se va a compactar hasta alcanzar la configuración final deseada.

### 5.6 MANTENIMIENTO

Un relleno sanitario bien operado se distingue de un tiradero de basura en su apariencia. La efectividad de las medidas para el control de la contaminación también depende de qué tan buen mantenimiento se le haya dado durante la construcción y después -

de terminado.

El polvo crea algunas veces problemas, especialmente en climas secos y si el polvo es muy fino, ya que puede provocar un desgaste excesivo del equipo, daños a la salud del personal y molestias con el viento en caso de existir zonas habitadas en los alrededores.

El polvo que se levanta con el tráfico de vehículos se puede controlar temporalmente regando los caminos con agua o usando un producto químico como el cloruro de calcio, si la humedad relativa es mayor al 30%. El  $\text{CaCl}_2$  se puede aplicar en una cantidad de 200 a 300 gramos por metro cuadrado y mezclado con los 10 cm superiores de la superficie del camino. El único inconveniente es que el cloruro es muy soluble en agua y podría disolverse fácilmente, creando la necesidad de aplicaciones constantes. Pueden usarse también, como remedio temporal, residuos de aceite regado periódicamente. Después de varias aplicaciones se formará una costra compacta con una gran resistencia a la abrasión provocada por el tráfico de vehículos y con moderada resistencia al agua. En terrenos muy permeables es de esperarse una buena penetración del aceite, pero cuando la superficie del terreno se opone es conveniente aflojarla ligeramente antes de aplicar el aceite y después compactar.

Todas las soluciones anteriores son sólo temporales. Para caminos con alto volumen de tráfico debe usarse una cubierta más resistente que puede ser de asfalto o de cemento.

Un problema de gran importancia en el mantenimiento de un relleno sanitario es la basura arrastrada por el viento, lo cual -- puede provocar un rechazo por parte de los que habitan en las cercanías. Para reducir este inconveniente al mínimo se puede recurrir a diferentes medidas. Una es mantener un frente de trabajo lo más pequeño posible, además hay que cubrir rápidamente los desechos y -- por último es conveniente el uso de cercas portátiles especiales para detener lo que sea arrastrado como papeles y plástico. La conveniencia de ser portátiles reside en que se irán colocando según la localización del frente de trabajo y dependiendo también de la dirección del viento.

El equipo usado en un relleno sanitario requiere de mantenimiento con regularidad por lo que el plan de operaciones debe incluir un programa para el mantenimiento del mismo. La información para un mantenimiento adecuado se puede obtener de los fabricantes.

Todos los problemas relacionados con insectos, aves y roedores tienen diversas soluciones como insecticidas, venenos, etc., pero la mejor forma de evitar todo esto es siempre tener un frente de

trabajo pequeño, nunca dejar ninguna clase de desechos descubiertos y cubrirlos siempre lo más pronto posible.

## 5.7 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

El clima puede reducir la velocidad con que se construye un relleno sanitario, por lo que se debe señalar en el plan de operaciones cómo se va a trabajar en diferentes condiciones climatológicas.

La lluvia es la causa más probable de problemas durante la operación del relleno. Los caminos en el área de trabajo se pueden convertir en lodazales, impidiendo el libre tránsito de los vehículos con los desechos. Estos caminos deben ser transitables en toda clase de climas, lo cual se puede lograr recubriendo los caminos con grava, piedras o cascajo. Los camiones que lleven lodo al salir deberán limpiarse, para evitar que lo tiren en las calles.

## 5.8 INCENDIOS

Los incendios en residuos recién depositados o incluso dentro de rellenos terminados son posibilidades con las que hay que -

contar. Las causas de estos incendios pueden ser: el depósito descuidado de escorias calientes o residuos de incineradores, la combustión espontánea y la presencia de materiales muy inflamables.

Cuando los incendios se producen en la superficie o cerca de ella, se pueden apagar rociando agua con una bomba, con un camión cisterna o con una toma de riego. Cuando se trata de un incendio profundo es necesario excavar hasta llegar a él y poder extinguirlo. Cuando el incendio no es muy grande es posible extinguirlo económicamente, ya sea superficial o profundo, cubriéndolos con una capa de tierra. Cuando es grande, es necesario esparcir los desechos para poder apagarlo.

En un relleno en el que se usan las técnicas de recubrimiento y compactación adecuadas, los riesgos de incendio son despreciables, ya que la cantidad de oxígeno para la combustión será limitada. El recubrimiento diario de los residuos con tierra es un método muy efectivo para el control del fuego, ya que separa los desechos en pequeñas celdas evitando que el fuego se propague.

Para combatir los incendios en un relleno sanitario es conveniente tener un sistema hidráulico con una presión de por lo menos 30 lb/pulg<sup>2</sup>. Este sistema debe tener una tubería de 1.5 pulgadas mínimo. El suministro de agua podría ser un arroyo o un estan-

que, siempre y cuando se cuente con las bombas adecuadas. El plan de operaciones debe incluir las técnicas de combate de incendios, con las cuales debe estar familiarizado todo el personal.

## 5.9 OLORES

Los gases malolientes en un relleno sanitario son el producto de la descomposición de los residuos orgánicos, sobre todo los ricos en proteínas. Un relleno bien operado está libre de malos olores, pero si a pesar de esto surgieran debe aplicarse una rápida acción correctiva.

Para mantener el mal olor en el mínimo se recomienda lo siguiente:

- 1.- Recubrir rápidamente la basura tan pronto como sea vertida.
- 2.- Recubrir diariamente los residuos con una capa suficientemente gruesa.
- 3.- Tapar las grietas que se produzcan en las zonas terminadas.
- 4.- Eliminación de charcos en la superficie, infiltraciones laterales y escapes por el pie de los terraplenes terminados.

## C A P I T U L O V I

### EQUIPO Y PERSONAL

#### 6.1 E Q U I P O

Existe una gran variedad de equipo disponible para su uso en un relleno sanitario. La selección dependerá del tipo y cantidad de desechos, del método de rellenado que se utilizará y de las características del terreno escogido.

Dado que el dinero gastado en equipo constituye una gran inversión y abarca un gran porcentaje de los costos de operación, su selección debe basarse en una cuidadosa evaluación de las funciones que va a desempeñar y de la capacidad de las diferentes máquinas para cumplir con estas funciones.

#### 6.2 F U N C I O N E S D E L E Q U I P O

La maquinaria usada en un relleno sanitario se clasifica en tres categorías según las funciones que desempeña: (1) la involucrada en el manejo de desechos, (2) la usada para el manejo del ma-

terial de recubrimiento y (3) la maquinaria que desempeña funciones de apoyo.

#### 6.2.1 MANEJO DE DESECHOS

El objetivo fundamental de un relleno sanitario es la disposición práctica y segura de los desechos sólidos. Aunque el manejo de los desechos sólidos en un relleno sanitario es muy semejante a las operaciones con tierra, existen diferencias que requieren de una especial consideración. Los desechos sólidos son menos densos, más compactables y menos homogéneos que la tierra. Esparcir un cierto volumen de desechos sólidos requiere de una cantidad de energía menor que la necesaria para hacerlo con una cantidad igual de tierra.

Debido a su tamaño, dureza y forma, los desechos sólidos deben de compactarse por fuerzas de compresión producidas por el peso de una máquina. Si se desea lograr la máxima compactación se obtienen mejores resultados con una máquina grande y pesada que con una ligera; también se logra pasando varias veces la máquina sobre los desechos. Muchas veces no es posible disponer de una máquina de gran tamaño, por lo que es recomendable esparcir los desechos en capas delgadas y hacer varias pasadas con una máquina más ligera.

### 6.2.2 MANEJO DEL MATERIAL DE RECUBRIMIENTO

La excavación, transporte, distribución y compactado del material de recubrimiento son similares a otras operaciones de manejo de tierra. Sin embargo, en las operaciones de un relleno sanitario no es práctica usual llevar un control riguroso del contenido de humedad para alcanzar una densidad máxima, aunque es conveniente cuando la tierra está muy seca, humedecerla para evitar el polvo y mejorar la compactación.

En muchas ocasiones el material de recubrimiento es traído de otros lugares, pero también es frecuente que se excave en el mismo sitio. Para el transporte desde otro lugar puede usarse desde una carretilla de mano hasta uno o varios camiones de volteo, dependiendo de la distancia y de la cantidad necesaria.

Si el material de recubrimiento se excava en el mismo sitio de trabajo se deberá escoger la maquinaria con la debida potencia y capacidad. A veces el material es adecuado, pero el suelo es muy duro, por lo que se debe romper con la maquinaria adecuada; es muy importante, también, tomar en cuenta el clima, ya que dependiendo de él se modifican las características del material de recubrimiento. El operador del equipo usado en ésta etapa deberá estar capacitado para dar a la cubierta la pendiente adecuada según se indi

que en el diseño.

### 6.2.3 FUNCIONES DE APOYO

En un relleno sanitario puede ser necesario tener equipo de apoyo para desempeñar funciones como construcción y mantenimiento de equipo, control del polvo, control de incendios y asistencia en las operaciones de descarga. La construcción y mantenimiento de caminos es importante para poder llegar al frente de trabajo en cualquier clima. Para el control del polvo pudiera ser necesario el uso de un carro tanque con aspersores y en caso de incendios siempre debe estar disponible equipo móvil, en el lugar o en los alrededores.

La asistencia en las operaciones de descarga podría consistir en ayudar a descargar los desechos de los transportes o en ayudar a algún vehículo que se hundiera en el lodo en clima lluvioso.

### 6.3 PERSONAL

El público, en general, conoce pocas veces la planificación y planteamiento detallados que preceden a la ejecución de un proyecto de relleno, aunque la fase operativa tiene lugar a la vista del público y todo el proyecto se juzga solamente por la calidad de la -

operación. Para que un sistema de tratamiento de desechos consiga y conserve la aceptación pública, es necesario que su personal sea -- competente y esté bien capacitado.

El número de empleados necesarios para tratar un determinado volumen de desechos sólidos por el método de relleno sanitario varía mucho. Las principales variables son: el tamaño y clase de emplazamiento, el clima, si es público o particular, la clase de desechos que se admiten, la dificultad y método para conseguir el material de recubrimiento y el grado de atención que se presta al aspecto estético y panorámico.

Otra clase de personal que es necesario, pero que no tiene que dedicar todo su tiempo a las operaciones del relleno sanitario -- son los supervisores, ingenieros y demás personal de planificación, administrativo y jurídico.

## C A P I T U L O V I I

### RELLENO TERMINADO

Uno de los grandes beneficios del relleno sanitario es que al terminarlo se deja al nivel deseado y con una superficie uniforme a terrenos que originalmente tenían desniveles y depresiones, elevando con esto su valor. Un relleno sanitario terminado puede tener una gran variedad de usos, pero todos ellos se deben planear antes del inicio de las operaciones.

#### 7.1 C A R A C T E R I S T I C A S

Como ya se dijo antes, antes de diseñar un relleno sanitario se debe saber el uso que se le dará una vez terminado. Un relleno sanitario, como ya sabemos, consiste de una serie de celdas que contienen una gran variedad de materiales con diferentes propiedades físicas, químicas y biológicas. La descomposición de los desechos sólidos le da características muy peculiares al relleno sanitario. Debido a estas características, al diseñarlo se debe planear el control de gases y de agua, la configuración de las cel



das, especificaciones del material de recubrimiento (las cuales dependen del uso proyectado al final) y el mantenimiento periódico -- que hace falta una vez terminado.

#### 7.1.1 DESCOMPOSICION

La mayoría de los materiales en un relleno sanitario sufren una descomposición, solo que en diferentes grados. Los desechos de alimentos se descomponen fácilmente, son moderadamente compactables y forman ácidos orgánicos que ayudan en la descomposición. Los desechos de jardinería son muy "elásticos" y por lo tanto difíciles de compactar pero se descomponen fácilmente. Los productos de papel y madera se descomponen más lentamente que los alimentos. El papel se compacta fácilmente y puede ocupar los huecos, mientras que los troncos, tocones y ramas de árboles son difíciles de compactar y además impiden la compactación de los materiales adyacentes. Los objetos metálicos se pueden compactar y sufren una lenta corrosión con la ayuda de los ácidos orgánicos formados en la descomposición de los alimentos. El vidrio y la cerámica son usualmente fácilmente compactables pero no sufren degradación. Los plásticos y hules son muy -- elásticos, el hule se descompone lentamente y la mayoría de los --- plásticos no se descomponen. La piel y los textiles son levemente - elásticos, pero pueden compactarse; se descomponen pero mucho más -

lentamente que los alimentos. Las rocas, tierra, cenizas y cascajo no se descomponen pero se pueden manejar y compactar con una gran facilidad.

### 7.1.2 DENSIDAD

La densidad de los desechos sólidos en un relleno sanitario es muy variable. Uno bien construído puede tener una densidad hasta de  $900 \text{ kg/m}^3$ , mientras que uno con una regular compactación la tendría de  $300 \text{ kg/m}^3$ . Generalmente con un esfuerzo moderado se puede lograr una densidad de 500 a  $600 \text{ kg/m}^3$ . En un relleno sanitario suelen aparecer regiones duras y blandas, que son el resultado de las diferentes velocidades de descomposición y de las diferentes densidades. La densidad influye también en el grado de asentamiento que se alcance en el relleno.

### 7.1.3 ASENTAMIENTO

El asentamiento en un relleno sanitario se presenta como resultado de la descomposición, filtraciones, pesos sobrepuestos y -- por su propio peso. Es frecuente que durante la construcción queden huecos, los cuales se irán llenando al irse descomponiendo los desechos que quedaron encima. El peso de la cubierta y de los desechos que quedan en las capas superiores ayudan al asentamiento, el cual

se incrementa cuando sobre del relleno se construyen caminos o estructuras.

La causa fundamental del asentamiento es la descomposición, la cual es muy influenciada por la cantidad de agua en el relleno. El asentamiento deberá ser más lento cuando la cantidad de agua para la descomposición química y biológica sea limitada.

El asentamiento también depende de los tipos de desechos, - del volumen de material de recubrimiento usado respecto al volumen de desechos cubiertos y del grado de compactación logrado. Un relleno no construido solamente con desechos de construcción y de demoli---ción no sufrirá el mismo asentamiento que uno en el que se entie---rran desechos residenciales. Un relleno construido con desechos altamente compactados no sufre el mismo asentamiento que uno en el -- que la compactación fue regular. Si dos rellenos contienen el mismo tipo de desechos y se construyen a la misma altura, pero la rela---ción desecho-cubierta es en uno 1:1 y en el otro 4:1, el primero sufrirá un menor asentamiento. Debido a los múltiples factores involu---crados, un relleno puede sufrir un asentamiento hasta del 33%.

El asentamiento puede producir grandes grietas en la cubierta, las cuales dejan expuestos a los desechos a las ratas y a las - moscas, permitir la entrada de agua y el escape de los gases. Un a-

sentamiento irregular provoca la formación de depresiones, favoreciendo el encharcamiento y posterior filtración del agua, además, si existe alguna edificación sobre del relleno , puede sufrir graves daños en su estructura y posiblemente derrumbarse.

Ya que todo relleno sanitario sufre asentamientos, se debe inspeccionar periódicamente su superficie y de ser necesario añadir y nivelar con tierra.

#### 7.1.4 GASES

Un relleno terminado sigue produciendo gases, los cuales pueden acumularse en el subsuelo o en estructuras cercanas, provocando explosiones y la muerte de la vegetación. Colocando una capa final gruesa, húmeda y cubierta de vegetación se tiene una barrera impermeable a los gases. Si el lugar se transforma en un estacionamiento, la capa de pavimento cumple la misma función. Lo anterior deberá hacerse junto con un plan de un sistema de control de los gases, el cual se elabora al diseñar el relleno.

#### 7.1.5 CORROSION

Como ya se dijo anteriormente, la descomposición va a producir, en algunos casos, ácidos orgánicos. Si el plan para el uso final del relleno incluye algún tipo de construcción, deberá tener

se especial cuidado, ya que las tuberías, drenaje y cimientos sufrirán una rápida y severa corrosión. Los ácidos presentes en un relleno sanitario pueden deteriorar una superficie de concreto, quedando expuestas las verillas con el consiguiente debilitamiento de la estructura.

## 7.2 U S O S

Existen muchas formas en las que puede usarse un relleno sanitario una vez terminado. Puede, por ejemplo, convertirse en área verde, en zona de recreo, puede usarse para la agricultura o para construcciones ligeras. Al diseñarlo se debe de hacer una evaluación desde el punto de vista técnico y también económico, ya que si el lugar se encuentra muy alejado de una ciudad, de nada serviría construir un estacionamiento o un campo de juegos o si se espera un rápido asentamiento no convendría hacer ni siquiera pequeñas edificaciones.

### 7.2.1 AREAS VERDES

El uso más común de un relleno terminado es éste, pues no es caro y sirve como lugar de esparcimiento a la comunidad. Si la cubierta final es delgada sólo podran plantarse pasto, flores y -

arbustos, ya que si las raíces penetran hasta los desechos puede -- resultarles tóxico. Sabemos también que una acumulación de gases en la zona de la raíz interfiere con el desarrollo normal de las plantas, por lo que hay que seleccionar un material para la cubierta adecuada.

La vegetación mas común es el pasto, ya que tiene raíces poco profundas y sólo se necesita una cubierta final con un espesor de 60 cm. El tipo de tierra escogido para la cubierta y el clima -- son los factores que van a decidir el tipo de vegetación, pues hay pastos que en algunos tipos de tierra no crecen, otros son adecuados porque no necesitan mucha agua, etc.

Las áreas verdes pueden quedar como simple ornamento, pero también pueden convertirse en parques, campos de juego para diferentes deportes y hasta campos de golf si se hace una planeación adecuada.

### 7.2.2 AGRICULTURA

Un relleno sanitario terminado puede ser productivo, si se usa para la siembra o el pastoreo. Aquí vuelve a ser importante la cubierta final por las mismas razones analizadas en la sección anterior. El maíz y el trigo tienen normalmente raíces de más de un metro (el trigo a veces más que el maíz). Si se piensa sembrar es --

conveniente hacerlo con el espesor y la tierra adecuadas para evitar pérdidas.

El riego es un peligro, ya que puede haber infiltraciones - hasta los desechos. Para evitar este problema se puede poner una - capa de 30 a 60 cm de tierra impermeable y después una capa adicio- - nal de tierra para sembrar. Aquí hay que añadir un sistema de ven- - teo para los gases, pues la capa impermeable no deja entrar al a-- - gua, pero tampoco deja salir a los gases.

### 7.2.3 CONSTRUCCIONES

Si se piensa construir sobre del relleno o cerca de él es - necesario consultar a un ingeniero experto en cimentaciones, ya -- que se involucran muchos factores como el movimiento de los gases, la corrosión y el asentamiento. El costo de diseñar, construir y - dar mantenimiento a las construcciones es más alto en un relleno - sanitario que en un terreno normal.

La técnica que causa menor número de dificultades es el u- - so de "islas". Idealmente, las "islas" son zonas de tierra normal que se dejan durante la construcción del relleno sanitario, con lo que el único asentamiento será el que se presenta en los terrenos normales.

Otra posibilidad sería excavar en el relleno y reemplazar a

los desechos con tierra y rocas, solo que este método es muy caro y podría, además, ser perjudicial para la salud de los trabajadores.

Un método eficaz para la construcción de edificios sería el uso de pilotes, siempre y cuando atraviesen los desechos hasta llegar a suelo firme; algunos de ellos deberán estar inclinados para resistir los posibles movimientos laterales en el relleno.

Algunas veces se construyen edificios ligeros de un solo piso, con los cimientos adecuados y una estructura que pueda resistir los asentamientos que pudieran presentarse. Los caminos, estacionamientos y banquetas deberán construirse con materiales flexibles y de fácil reparación, como grave y asfalto.

Al construir no debe olvidarse la emisión de gases de de composición, por lo que debe protegerse a la construcción, tuberías y drenajes adecuadamente para impedir la entrada a ellos de gases malolientes o explosivos. Las tuberías y drenajes, aparte de selladas, deberán ser flexibles para soportar los cambios de nivel provocados por el asentamiento.

## C A P I T U L O V I I I

### ASPECTO LEGAL

La contaminación ambiental es uno de los mayores peligros a los que se enfrenta la humanidad actualmente. Desde hace muchos años se ha previsto y combatido por muchos medios y siempre se le ha dado mayor importancia a la contaminación del aire y del agua, relegando a segundo término la contaminación de los suelos.

El problema de la contaminación es más grave en los países altamente industrializados que en los que se encuentran en vías de desarrollo, pero el grado de adelanto en los primeros les da una cierta ventaja al tener medios más eficaces, tanto técnicos como legales, para la prevención y control de la contaminación.

En México, especialmente en la capital, nos encontramos en una etapa en la cual la industria crece a grandes pasos, al igual que la población y con ellas la producción de desechos de todos tipos. La responsabilidad en este problema corresponde, en parte, a los industriales y a la población, pero en mayor proporción al gobierno, quien es el encargado de promulgar y hacer cumplir leyes para la prevención y control de la contaminación del aire, agua y

suelos.

En el caso de la contaminación del aire y del agua ya existen reglamentos que se encuentran vigentes, pero en lo concerniente a la contaminación del suelo sólo se tiene un anteproyecto del "Reglamento sobre el manejo, tratamiento y disposición final de desechos sólidos para la prevención y control de la contaminación de los suelos", el cual asigna como responsables de su aplicación y cumplimiento a la Secretaría de Salubridad y Asistencia, en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, los gobiernos locales y el gobierno federal.

Por considerarlo de interés general, reproduciré a continuación algunos de los artículos de éste anteproyecto, en especial los relacionados con este trabajo:

Capítulo II.- De la prevención y control de la contaminación de los suelos

Artículo 5.- La Secretaría de Salubridad y Asistencia, en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos para evitar la contaminación y degradación de los suelos vigilarán y controlarán cada una de las actividades, operaciones y procesos siguientes:

- 1.- Manejo de desechos sólidos generados en las diversas actividades, operaciones o procesos municipales, industriales, agropecuarios o de cualquier otra naturaleza,
- 2.- Vertederos y lugares de depósito,
- 3.- Métodos de reutilización y tratamiento de los desechos sólidos y
- 4.- Los métodos de disposición final.

Artículo 8.- Se prohíbe descargar o depositar desechos sólidos provenientes de actividades domésticas, municipales, industriales, comerciales, agropecuarias, de servicios o de cualquier otra índole, en terrenos y lotes baldíos, en la vía pública, en los sistemas de alcantarillado, en las márgenes o cauces de los ríos, - arroyos, lagunas, mar, carreteras y en general, en lugares no autorizados, salvo casos de excepción en los que se cumplan las condiciones sanitarias que señale la SSA de conformidad con lo estipulado en el presente Reglamento.

Artículo 9.- Se prohíbe el tiradero o vertedero de desechos a cielo abierto.

La SSA otorgará un plazo hasta de 5 años para utilizar o disponer de desechos sólidos a cielo abierto, siempre que se to--

men los cuidados sanitarios para no ocasionar daños a la salud.

Sólo se permitirán los métodos siguientes:

- a) Relleno sanitario
- b) Eliminación en incineradores de cámara múltiple
- c) Compostaje

Cualquier otro método será sometido a la consideración exclusiva de la SSA para su estudio y resolución.

#### Capítulo III.- De los desechos humanos

Artículo 13.- Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales o industriales, deberán tratarse mediante digestores o por cualquier otro método autorizado por la SSA antes de disponerlos en un relleno sanitario.

#### Capítulo IV.- De los desechos sólidos municipales

Artículo 15.- Quienes se dediquen al manejo, tratamiento y disposición final de desechos sólidos con fines comerciales o de otra índole, deberán solicitar y obtener la concesión o autorización correspondiente del Departamento del Distrito Federal o del municipio que corresponda, previo estudio y aprobación de la SSA.

Artículo 16.- Para los efectos del artículo anterior, quienes se interesen en el manejo tratamiento y disposición de desechos

chos sólidos, o en alguna o algunas de las operaciones relativas, deberán presentar a la autoridad municipal de la jurisdicción la solicitud, con copia para la SSA en la que se indique:

1.- Nombre, domicilio y demás datos generales de identificación. Copia del acta constitutiva de la sociedad comercial o industrial en su caso, y la obligación de presentar los demás datos o documentos que se le requieran.

2.- Procesos, operaciones o actividades que solicitan se les concesionen.

3.- Delimitación de la zona precisa o circunscripción territorial en que se pretenda operar.

4.- Vehículos y equipo que destinarán al servicio público cuya concesión solicitan. Número, modelo, capacidad y demás características de los vehículos y del equipo.

5.- Características físicas, químicas, biológicas, toxicológicas o de peligro o incompatibilidad de los desechos sólidos -- que pretendan manejar.

6.- Estimación de las cantidades mínima, media y máxima diaria, semanal y mensual que se pretende manejar.

7.- Croquis de localización y colindancia del lugar de almacenamiento, tratamiento o disposición final, señalando si es de

propiedad pública o privada.

8.- Distancia a la población más cercana de los lugares antes mencionados.

9.- Datos de precipitación, evaporación, temperatura, clima, vientos dominantes y estudio geohidrológico del sitio en el que se realizarán las operaciones de relleno sanitario u otro método que se proponga.

10.- En caso de relleno sanitario, se proporcionará su diseño y calendario de trabajo.

11.- En el caso de cualquier otro sistema de disposición final, se proporcionará la memoria técnica que describa en qué consiste su funcionamiento y las condiciones técnicas y económicas que se tomaron en cuenta para su diseño, anexando diagramas de flujo del sistema que se propone utilizar.

#### Capítulo V.- De los desechos sólidos industriales

Artículo 21.- Para la recolección, transporte, depósito, tratamiento o reutilización de desechos industriales, tanto por autoridades como por particulares, se requiere permiso o autorización de la SSA. La autorización especificará los lugares de traslado, uso, tratamiento y disposición de los mismos.

La vigencia de los permisos será de un día hasta dos a-

ños, renovables a su vencimiento, en cualquier tiempo y su expedición causará el pago de derechos de acuerdo a la tarifa vigente que señale el decreto correspondiente.

Artículo 23.- La SSA antes de aprobar la construcción y funcionamiento de rellenos sanitarios para desechos industriales, además de exigir a los interesados la información que señala el artículo 16 de este Reglamento, comprobará la aplicación de medidas de seguridad en su funcionamiento, para no afectar la calidad del aire, de las aguas superficiales o subterráneas de la zona y el uso del suelo.

Artículo 25.- Se prohíbe depositar en suelos desechos sólidos que contengan productos químicos tóxicos que sobrepasen los máximos permisibles expresados en la siguiente tabla:

SUBSTANCIA	MAXIMO PERMISIBLE (p.p.m.)
Arsénico	0.05
Cadmio	1.00
Cromo hexavalente	0.05
Cesio	1.00
Cobre	2.00
Fierro	2.00
Mercurio	0.05

Manganeseo	1.00
Niquel	1.00
Plomo	0.05
Zinc	0.05
Berio	1.00
Boro	2.00
Selenio	1.00
Cianuro	0.05

## C O N C L U S I O N E S

1.- La necesidad de disponer adecuadamente de desechos --  
sólidos urbanos e industriales es cada día más grande, por lo que  
se requiere de métodos tanto adecuados como económicos para lo--  
grarlo.

2.- Comparado con el método de compostaje y el de incine-  
ración, el relleno sanitario parece ser el más adecuado para la -  
eliminación de desechos sólidos.

3.- La afirmación anterior es en base a las siguientes --  
ventajas y desventajas del método:

a) Ventajas:

1) Comparado con los otros métodos, se requiere una in  
versión relativamente baja.

2) Los gastos de mantenimiento son bajos.

3) Cuando ha sido bien diseñado no contamina al aire,  
al agua ni al suelo.

4) No produce malos olores ni favorece la formación y  
desarrollo de ningún tipo de plaga.

5) Admite casi cualquier tipo de desechos sólidos, --  
siempre y cuando sean considerados durante el diseño.

6) Un terreno originalmente de escaso valor lo multiplica al ser terminado el relleno, ya que puede dársele una gran variedad de usos.

7) Es un método que nos permite la eliminación final y completa de los desechos sólidos.

b) Desventajas:

1) Puede haber dificultad para conseguir un terreno adecuado, ya sea por no haber disponibles, por no cumplir con las características indispensables o por ser de un costo elevado.

2) El lugar escogido puede presentar dificultades para el transporte de los desechos.

3) Si se trata de los desechos de una ciudad, es necesario disponer de un terreno de grandes dimensiones o de gran capacidad, según sea el caso.

4) La construcción y operación del relleno sanitario depende siempre en gran parte de las condiciones climatológicas.

4.- El éxito de éste método depende en un alto grado del

trabajo preliminar, que es el estudio y elaboración del plano topográfico del terreno y de los estudios geológico e hidrológico realizados.

5.- Es de gran importancia conocer las cantidades producidas de desechos sólidos en intervalos definidos de tiempo, así como sus posibles variaciones para poder hacer un buen cálculo de la vida útil del relleno.

6.- También es necesario saber la composición de los desechos y sus variaciones, de modo de poder predecir el grado de descomposición que se alcanzará y el asentamiento producido por ella y también diseñar un relleno adecuado al lixiviado que vaya a producirse.

7.- Un buen relleno sanitario es el producto de un diseño cuidadoso, de una construcción adecuada y de una operación apegada a las normas del diseño.

8.- El grado de compactación es fundamental en el posterior asentamiento que se presente, el cual influirá grandemente en el uso que se de al relleno terminado.

9.- En los rellenos sanitarios que manejan desechos del orden de toneladas la producción de gases y de lixiviado será ---

también grande por lo que deben extremarse las precauciones para su control. En algunas ocasiones habrá necesidad de colocar estaciones de monitoreo del lixiviado, para determinar las posibilidades de contaminación en las aguas superficiales y freáticas.

10.- Cuando las características geológicas, hidrológicas o algunas otras hagan difícil, cara o dudosa la operación exitosa debe evitarse el uso de ese terreno para la construcción de un relleno sanitario.

B I B L I O G R A F I A

Andersen, J.R. , Dornbush, J.N.

Influence of Sanitary Landfill on groundwater quality

Journal American Water Works Association

April, 1967

Brunner, Dirk R. , Keller, Daniel J.

Sanitary Landfill, Design and Operation

U.S. Environmental Protection Agency

1972

Eliassen, R.F. , O'Hara, F.N. , Monahan, E.C.

Sanitary Landfill gas control

American City

December, 1957

Fleming, R.R.

Fundamentals of Sanitary Landfill Operation

Public Works

December, 1964

Fungaroli, A.A.

Pollution of subsurface water by sanitary landfill, Vol.I

U.S. Environmental Protection Agency

1971

Henningson, Durham & Richardson Inc.

Collection and disposal of solid waste for the Des Moines Metropolitan area

U.S. Environmental Protection Agency

1971

Municipal refuse disposal

Institute for Solid Wastes of the American Public Works Association

1970

Nickerson, H.D.

Selection of sanitary landfill sites

Sanitalk

1961

Rogus, Casimir A.

Use of completed sanitary landfill sites

American Public Works Association

1959

Vanderveld, J., Jr.

Design and operation of sanitary landfills

APWA Yearbook

Chicago, 1964

Winkler, T.E.

Compaction and settlement of sanitary landfills

Refuse Removal Journal

December, 1958

Anteproyecto de reglamento sobre el manejo, tratamiento  
y disposición final de desechos sólidos para la preven-  
ción y control de la contaminación de los suelos.

Secretaría de Salubridad y Asistencia, Subsecretaría de  
Mejoramiento del Ambiente