



Universidad Anáhuac  
del Sur

323817

2  
2ij

## UNIVERSIDAD ANAHUAC DEL SUR

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

ESCUELA DE INGENIERIA

TESIS

"TRATAMIENTOS PARA LOS  
DESECHOS SOLIDOS"

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERA MECANICA ELECTRICISTA

PRESENTA:

**DORIS GARCIA HERNANDEZ**

DIRECTOR DE TESIS:

M. EN C. VICENTE RIVERA MORAS

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D.F.

1996

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**A MIS PADRES:**

**Sr . Dr. Guillermo García Alcántara**

**Sra. María Griselda Hernández de García**

**A MIS HERMANOS:**

**Isabel Cristina y Guillermo**

**A todo el grupo de profesores y personal de la Universidad Anáhuac del Sur que contribuyeron en mi formación profesional y a la realización de esta tesis.**

**A MIS PADRINOS:**

**Sr. Lic. Fco. Javier González García**

**Srita. Lucila García Alcántara**

**A MIS TIOS:**

**Sr. Dr. Ignacio García Alcántara +**

**Sr. Lic Héctor Rogél Hernández**

**A TODA MI FAMILIA . . .**

**A la Mtra. Nadia Stankovitch**

**A Rocío González, Diana Reynaud y Marcela Aldape**

## INDICE

1.	INTRODUCCION	1
2.	OBJETIVOS	2
3.	SIN'TESIS HISTORICA	3
4.	CLASIFICACION DE BASURAS Y DESPERDICIOS	7
5.	SOLUCIONES POSIBLES	10
6.	CONCLUSIONES	51
7.	BIBLIOGRAFIA	53

## 1. INTRODUCCION

El problema de los desechos sólidos se ha ido acentuando con el aumento de la población y la variedad y volumen de desperdicios que han acompañado al avance tecnológico. Por lo tanto, es necesario analizar las alternativas de solución que sean aplicables a corto plazo.

Esta Tesis describe algunas propuestas para el control de los desechos sólidos y consta de dos partes fundamentales. La primera contiene una clasificación de los desperdicios y basuras según su origen. La segunda parte se aboca a estudiar las diversas plantas de procesamiento que hay y cuyas tecnologías pueden ser de tratamiento o de disposición final. Las de tratamiento abarcan al reciclaje, composteo y compactación en bloques, mientras que las de disposición final incluyen la incineración y el relleno sanitario.

Cabe notar que se hace incapie en el proceso de relleno sanitario por ser la mejor alternativa ya que permite no sólo disponer convenientemente de los desechos sólidos, sino además, recuperar terrenos que pueden utilizarse como áreas verdes o zonas de construcción.

Así pues, se analizan varios aspectos como son tipo de terreno, selección del sitio del relleno sanitario, cálculo de la vida útil de éste, su material de cubierta, y el diseño de la celda diaria, de franjas y de capas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Recopilar y clasificar la información con respecto a desperdicios y basuras.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Investigar y estudiar los diversos procesos y plantas de procesamiento para desechos sólidos.

Analizar el Relleno Sanitario como una de las mejores alternativas de solución al problema de los desechos sólidos.

### 3. SINTESIS HISTORICA

Las actividades relacionadas con la limpieza de la Ciudad de México se remontan a la época prehispánica. Hasta 1521 los calpixque, topiles y macehuales eran los encargados de llevar a cabo la limpieza de la ciudad. Así pues, un grupo de mil personas recogían la basura de las calles. Las tierras pantanosas se usaban como tiraderos, la ciudad se iluminaba al incinerar la basura y el abono se obtenía de la materia séptica y excretas.

De 1526 a 1600 la Ciudad de México desarrolla una serie de políticas basadas en las siguientes normas.

- Mantener limpias las propiedades para evitar la creación de muladares.
- No arrojar basura en las acequias, estableciéndose así lugares especiales para arrojar los desperdicios.
- Multas de tres pesos oro para todo aquel que arroje basura o agua sucia en las calles.
- El servicio de limpieza se da a contrato.
- Se proporciona equipo para el servicio de limpieza, como mulas y carretones.
- La ciudad se limpia cada semana.
- El contratista cuenta con 24 indios para el servicio de limpia.

En 1769 el Marqués de Croix expide un bando que incluye reglas para la limpia de las calles. En 1790 se publica el bando Revillagigedo y José Antonio de Alzate propone carros especiales para la eficiente recolección de los desechos sólidos. (Sánchez, J. 1993)

En 1792 se inicia el servicio de limpia en los barrios. Se presta el servicio diurno para la basura sólida y el nocturno para extracción de líquidos. Se tienen ya 15 carros y se emplea el uso de la campana para anunciar los carros de limpia. Existen también 14 tiraderos, se nivelan calles con la basura, se emiten sanciones, los carros de mula se reglamentan

y se enumeran, se instrumentan rutas de recolección domiciliaria y de 1826 a 1836 se expiden disposiciones gubernamentales y reglamentarias sobre drenaje y limpieza.

En 1848 debido a la ineficiencia de los contratos se nombra una comisión de limpia. Para 1854 se tienen 28 carros de limpia a los cuales se integran las pipas de agua. El servicio alcanza un presupuesto de \$50,000 anuales. En 1865 se presentan problemas operativos en el servicio. Para 1871 se tienen 32 carros de mulas para el turno diurno y 30 para el nocturno y el costo del servicio era de medio real por carro de basura.

En 1873 da inicio la separación de hilacha, vidrio y metales en los propios basureros. Para 1883 se quema la basura con el fin de controlar una epidemia. En 1899 se incrementa el material de limpia y se publica un dictamen donde se hace responsable del servicio de limpia a la Comisión de Limpia.

Con el cambio de siglo, el servicio se confiere a la Comisión de Policía y se utilizan 107 carros en el día y 42 en la noche. Para llevar a cabo este servicio se realiza una erogación de \$ 99,618.36 anuales. En 1901 se lanza una convocatoria para la construcción y operación de un horno crematorio. Asimismo, se funda la Dirección de Barrido y Riego de las Calles y se hacen estudios de costos del servicio para mejorar el sistema.

Para 1906 el número de pepenadores incrementa a 289 y se realizan de 18,500 a 25,000 viajes mensuales para transportar la basura a los tiraderos. No es sino hasta 1925 cuando se introducen camiones modernos para el Servicio de Limpia, los cuales se usan para el servicio en el primer cuadro mientras que las guayines de mulas siguen operando en la periferia. El costo de este servicio era de \$279,845.50 anuales. También se propone trasladar la basura por ferrocarril a 15 kms de la ciudad.

Para 1934, se forma el Sindicato de Limpia y Transportes. En 1935 el costo anual de servicio era de \$743,223.94 y la basura se llevaba a cuatro tiraderos municipales.

En 1941 entra en vigor el primer Reglamento para el Servicio de Limpia en el Distrito Federal. El 14 de mayo de 1941 se firma el contrato que otorga a una empresa la concesión para la explotación e industrialización de la basura. Se instalan tres plantas industrializadoras de basura, las cuales se clausuran en 1943. (Sánchez, J. 1993)



De 1941 a 1946 hubo un gran incremento de basura debido a que el Servicio de Limpia se extiende a otras colonias. Por esta razón hubo que aumentar la cantidad de empleados, así como de vehículos y maquinaria, para transportarla a los tiraderos.

Para 1946 la ciudad se divide en el primer cuadro, ocho zonas y 39 sectores. En 1950 se recogen 2,000 toneladas de basura al día y en 1952 los carros de tracción animal se sustituyen por vehículos de compactación tipo tubular y carga trasera.

En 1972 se desconcentran los servicios de limpia y las delegaciones toman a su cargo tanto las áreas de barrido manual y mecánico, como la recolección de basura domiciliaria. También se crea la Oficina de Sistemas de Recolección y Tratamiento de Basura. Para 1975 ya se cuenta con 120 barredoras y 600 camiones y se generan 7,000 toneladas de basura por día. En 1976 la Oficina de Recolección y Tratamiento de Basura ya forma parte de la Dirección General de Servicios Urbanos.

La primera estación de transferencia que se construye en el Distrito Federal se ubicó en la Delegación Miguel Hidalgo. La Planta Industrializadora de Desechos Sólidos de San Juan de Aragón empieza a funcionar en noviembre de 1974. Para 1977 solamente queda la Oficina de Recolección de Desechos Sólidos dentro de la estructura de la Dirección General de Obras.

Entre 1985 y 1988 se generan alrededor de 9300 toneladas de basura al día y se ponen en marcha programas de limpieza en vialidades y de recolección especializada en unidades clínicas, médicas y centros recreativos. También se construye la Alameda Poniente en el ex-tiradero de Santa Fe, el Parque Cuiclahuac en el ex-tiradero de Santa Cruz Meyehualco y la Alameda Oriente en el tiradero de escombros del Bordo Xochiaca.

Por otro lado, se clausuran los tiraderos a cielo abierto de Santa Cruz Meyehualco, Santa Fe, San Lorenzo Tezonco, Tlalpan, Tlahuac, Milpa Alta y del Vaso de Texcoco. Con este último se inicia la operación del primer Relleno Sanitario. En 1989 se expide un reglamento nuevo para el Servicio de Limpia en el Distrito Federal. También se pone en marcha un programa para fortalecer el Parque Vehicular de Limpia. (Sánchez, J. 1993)

Para 1991 empieza a funcionar la Planta Incineradora de San Juan de Aragón. En este mismo año se demolió la estación de transferencia de la Delegación Iztacalco, por lo que la infraestructura de transferencia se reduce

a diez estaciones que posteriormente se rehabilitan. También se construyen tres Estaciones de Transferencia con un criterio ecológico. Estas son Tlalpan, Alvaro Obregón e Iztapalapa II. Igualmente, se tecnifica la operación del Relleno Sanitario y se construye la infraestructura para su control y monitoreo ambiental con el fin de iniciar la impermeabilización de los sitios con membranas plásticas para disminuir la afección ambiental. Posteriormente, se instrumenta el Programa de Monitoreo Ambiental en las instalaciones del Distrito Federal para la transferencia, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos.

En este mismo año entra en marcha el Programa de manejo integral de los residuos sólidos y da inicio el control del manejo y confinamiento de residuos especiales aplicándose para ello procedimientos tecnificados. Finalmente los servicios de recolección y recepción en Estaciones de Transferencia y en sitios de disposición final para los residuos generados en establecimientos mercantiles, industriales y similares, implican un pago obligatorio de acuerdo con la Ley de Hacienda del Distrito Federal. (Sánchez, J. 1993)

## 4. CLASIFICACION DE BASURAS Y DESPERDICIOS

La contaminación por desechos sólidos es un factor muy importante en la contaminación del aire, del agua y de los suelos. "Se consideran como desechos sólidos todos aquellos objetos que por su naturaleza no son útiles por quien los produce." (Mendoza et al., 1983: p. 11)

Los factores de mayor importancia que influyen en la generación de desechos sólidos y su adecuado manejo son principalmente:

- "Falta de educación y conciencia cívica de los ciudadanos," (Mendoza et al., 1983: p. 12)
- "Introducción de mejores técnicas en las industrias, las cuales trabajan nuevos materiales, en sustitución de los tradicionales, que permiten re-uso." (Mendoza et al., 1983: p. 12)

### 4.1 Basuras Domésticas

Las basuras domésticas son el producto de los desperdicios de comida. Estas basuras contienen una combinación de materia orgánica, que se descompone rápidamente, dejando un residuo pequeño. También contienen materia no putrescible ya sea combustible o no, como papel, plásticos, vidrio, madera, etc.

Este tipo de basuras representa uno de los principales problemas de salud pública.

### 4.2 Desperdicios Industriales

Los desperdicios industriales son todos aquellos que se generan por los procesos y operaciones unitarias de industrias y fábricas, además de las basuras putrescibles de las instalaciones de procesos de productos alimenticios, rastros, etc.

Hay industrias que producen desechos sólidos sumamente peligrosos que causan efectos posteriores. Estos desechos se clasifican en:

1. Sustancias radioactivas
2. Sustancias químicas
3. Desechos biológicos
4. Desechos inflamables
5. Desechos explosivos

Con respecto al almacenamiento de los desechos generados por la industria alimenticia deben tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Por una parte, deben estar protegidos para evitar que animales domésticos o aves se introduzcan para buscar alimento.
- Por otra, el lugar de almacenamiento debe tener buena ventilación y debe lavarse periódicamente, desinfectándolo si es necesario.

#### **4.3 Desechos Sólidos de las Instituciones de Salud**

Los principales son:

1. Desechos patológicos que son muy peligrosos
2. De equipo médico
3. De servicio de alimentos
4. De material orgánico y no orgánico no combustible

#### **4.4 Desechos Sólidos de los Comercios**

Estos se deben a la operación de estos establecimientos y al mantenimiento que se les da a estos para que puedan operar.

#### **4.5 Desechos Sólidos de Mercado**

Estos causan uno de los problemas más serios pues ocasionan desechos orgánicos que atraen roedores, insectos y perros.

#### **4.6 Desechos Sólidos en Edificios Públicos**

En estos el problema no es tan grave, puesto que constan de papeles pequeños, restos de comida y materiales no combustibles.

#### **4.7 Desechos Sólidos en Instalaciones Recreativas**

Consisten en latas, botellas, cajetillas de cigarrillos, suciedad de animales, etc.

#### **4.8 Tiraderos a Cielo Abierto**

Puesto que es donde se dispone finalmente la basura, genera fauna nociva, biodegradación de materia orgánica que produce gases que contaminan el suelo, el aire y el agua de las zonas cercanas a estos.

## 5. SOLUCIONES POSIBLES

Las tecnologías de procesamiento se dividen en aquellas que son de tratamiento y las que son de disposición final. Las de tratamiento incluyen al reciclaje, el composteo y la compactación en bloques. Por su parte, las de disposición final se componen de la incineración y el relleno sanitario.

### 5.1 Tecnologías de tratamiento

**Reciclaje:** Esta tecnología tiene por objetivo recuperar el metal, el vidrio, el papel, el cartón y el plástico principalmente. Presenta dos aspectos:

En primer lugar, la recuperación es la separación de la materia reciclable ya sea manualmente (pepena) sobre bandas mecanizadas o automatizadamente con magnetos, vibradores, etc.

En segundo lugar, implica desde la homogenización hasta la purificación y reducción del volumen de cada subproducto para obtener principalmente plástico peletizado, pulpa de papel, hojalata quemada, vidrio lavado o granulado y otros (ver Fig. 1).

# DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

## RECICLAJE

FIG. 1



RECEPCION Y PESADO DE LA BASURA.



SELECCION Y CLASIFICACION DE SUBPRODUCTOS A TRAVES DE BANDAS TRANSPORTADORAS.



HACIA AREA DE CONCENTRACION DE SUBPRODUCTOS.



EMPAQUE.



ALMACENAMIENTO.

FUENTE: TESIS DE MENDOZA

**Composteo:** Esta tecnología consiste en biodegradar la parte orgánica de la basura, con la que se obtiene abono que sirve para mejorar el suelo cultivable.

Se lleva a cabo una recolección de basura que se transporta a una planta donde la parte orgánica se separa y se compostea cerca de las áreas agrícolas. Los rechazos se llevan a rellenos sanitarios.

El composteo en México consiste en:

- recepción
- dosificación
- separación manual de subproductos de la basura con valor comercial
- reducción de tamaño o trituración primaria
- separación magnética de materiales ferrosos
- digestión
- maduración
- pulverización

Existen dos sistemas de compostaje: la fermentación natural al aire libre y la fermentación acelerada.

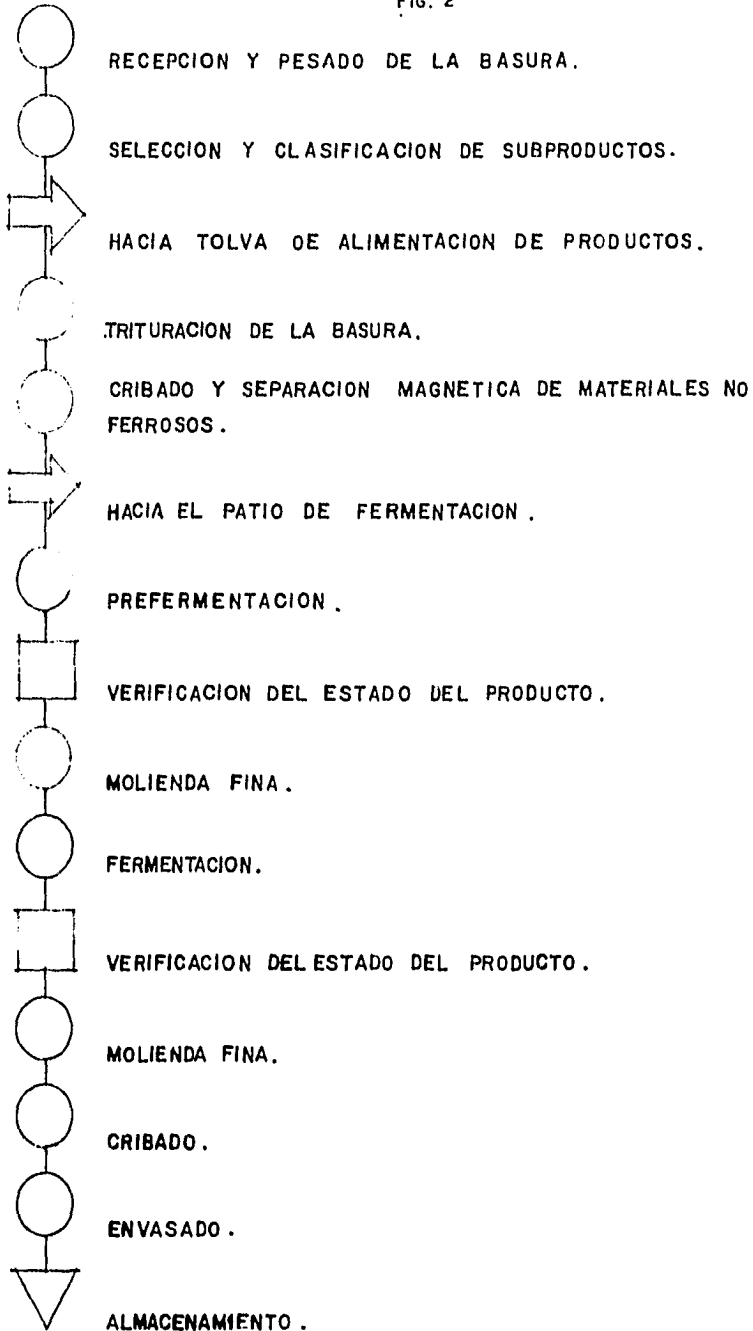
En el primer sistema, las basuras frescas y trituradas se disponen en pilas en un patio destinado a ello. Se lleva a cabo un traspaleo con el fin de elevar la temperatura y acelerar la fermentación de las bacterias aerobias.

En la fermentación acelerada, la basura triturada se almacena en un lugar cerrado, controlando los factores externos del ambiente, reduciendo el ciclo de descomposición y acelerando la fase aerobia de ésta llegando a una autoesterilización del producto (ver Fig. 2).



# DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO COMPOSTEO

FIG. 2



FUENTE: TESIS DE MENDOZA

**Compactación en bloques:** Compactando absolutamente todos los componentes de la basura se puede lograr la eliminación bacteriana de sus residuos.

Para deshidratar la basura se pueden emplear prensas en forma similar a la que se usa para el prensado de la chatarra de automóviles, obteniendo así un producto compactado sumamente duro.

La tecnología se divide en tres pasos (ver Fig. 3):

1. Compactado y compresión automática de la basura: aquí los camiones depositan la basura en un compartimiento por medio de una compuerta que se cierra evitando así los malos olores.

Esta basura se precomprime por medio de un cilindro neumático que exprime toda el agua de la basura y se derrama a través de un albañal y se deposita en un tanque.

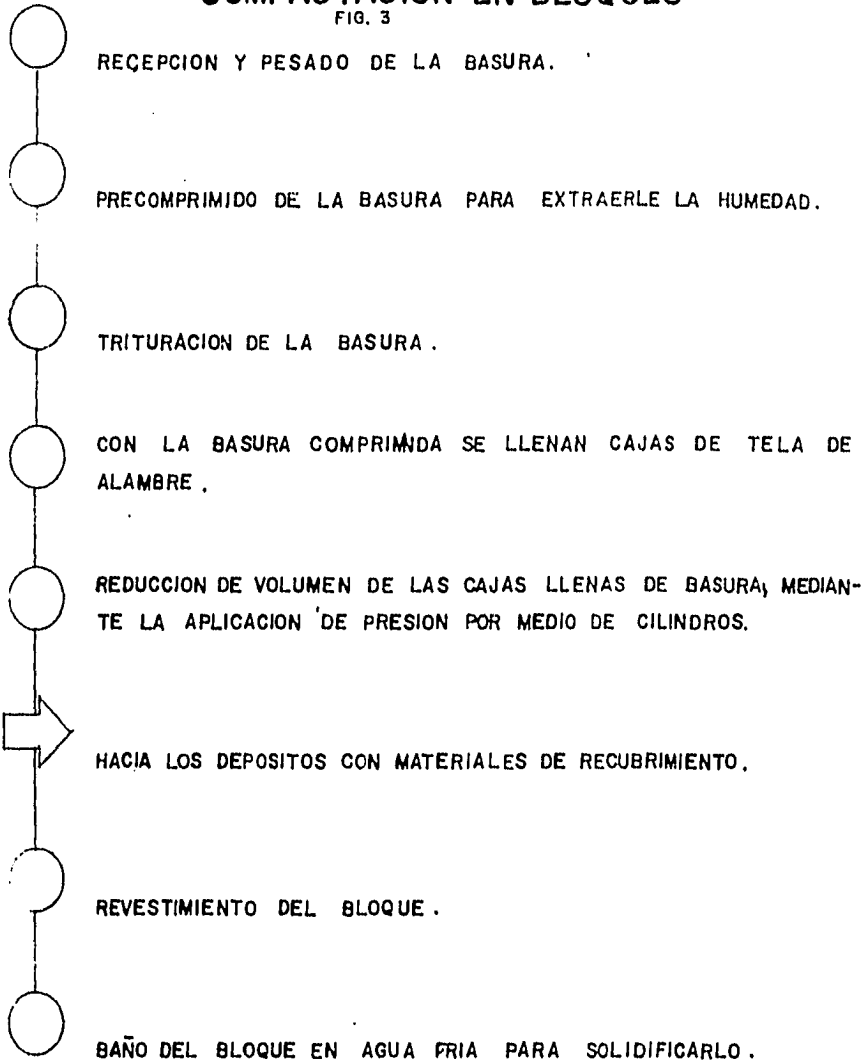
Posteriormente la basura ya precomprimida se coloca en una tolva revoladora y se desplaza en pequeñas partes que se depositan en cajas de lamina delgada o de tela de alambre cuyo tamaño es de tales dimensiones, para que cuando sean comprimidas adquieran el tamaño adecuado.

Después las cajas pasan a un cilindro donde se someten a una presión superficial, posteriormente a una concentrada donde el volumen de la basura se reduce y finalmente a otra superficial.

Dependiendo del uso que se le quiera dar al bloque obtenido, éste se reviste con asfalto, cemento o vinilo, los cuales se encuentran en sus respectivos depósitos a donde los bloques se trasladan por medio de un transportador de cadenas y se sumergen en un tanque de agua fría.

# DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO COMPACTACION EN BLOQUES

FIG. 3



2. Disposición de los residuos líquidos extraídos. Los líquidos obtenidos se pueden reutilizar después de pasar por el siguiente proceso:

- se dejan asentar
- se diluye en agua
- se dejan aerear
- ya separados los lodos se esterilizan con cloro

3. Revestimiento o recubrimiento de los bloques obtenidos. Las cajas de lámina o de tela de alambre se llevan al compartimiento de la prensa donde se llenan de basura y se les aplica una presión con un cilindro principal y otra presión concentrada con una serie de cilindros pequeños secundarios. La presión a la que se someten es de 100 kg/cm a 210 kg/cm.

Finalmente el bloque se envuelve en tela de alambre y se traslada por medio de un transportador de cadenas a unos depósitos donde se sumerge y se baña con agua fría para concluir su solidificación. Los bloques resultantes son muy higiénicos e indestructibles.

## 5.2 Tecnologías de Disposición Final

**Incineración:** La basura se reduce a cenizas que ocupan tan sólo de un 5% a un 10% del volumen inicial. Esto se logra a través de la oxidación de los componentes combustibles de la basura con el oxígeno atmosférico; es decir, quemando la basura de tal forma que los productos obtenidos estén esterilizados y que los gases de salida no produzcan contaminación. Para tal efecto esto se lleva a cabo en hornos que varían sólo en el diseño de las cámaras cremadoras y de las parrillas.

Primero se separan las basuras que pueden ser reutilizadas, colocando las demás sobre una rejilla para someterlas a combustión. Esto se realiza en un espacio cerrado y a una presión negativa para evitar la salida de polvos nauseabundos.

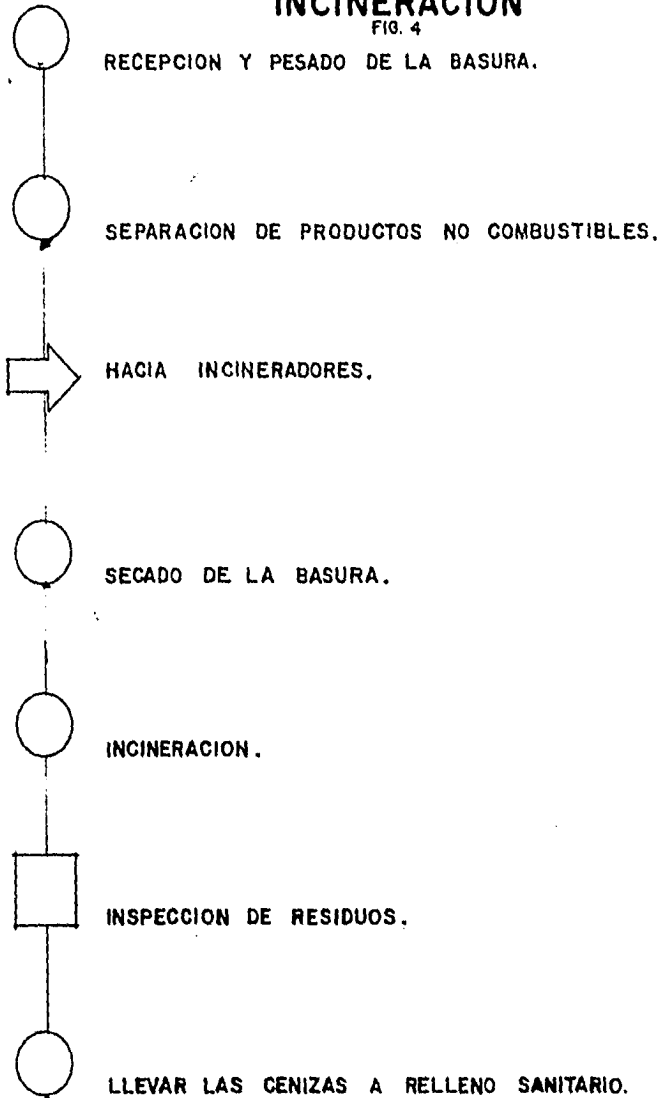
Puesto que la combustión genera humo, principalmente bioxido de carbono con metales suspendidos, se han diseñado filtros especiales. Dependiendo de la composición de la basura y de las características del horno, el tratamiento puede durar de 2 a 8 horas. Para lograr una combustión óptima es necesario analizar los siguientes factores:

1. Poder calorífico bruto y neto.
2. Contenido de material combustible.
3. Humedad.
4. Cenizas.
5. Velocidad de quemado.
6. Tamaño promedio del desecho.
7. Angulo de reposo interno de la basura. (Mendoza et al., 1983: p. 107)

Ver Fig. 4.

# DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO INCINERACION

FIG. 4



**Relleno sanitario:** Este método de Ingeniería consiste en depositar los desechos sólidos en el suelo esparciéndolos en capas delgadas, compactándolas al menor volumen y cubriéndolas con tierra por cada día de trabajo, de tal manera que se proteja el ambiente.

Este método además de evitar la contaminación de los suelos y de prevenir la contaminación ambiental, resulta un método excelente para que tengan valor terrenos marginales o inadecuados.

"El relleno sanitario debe realizarse a partir de un proyecto que cumpla con leyes, reglamentos, normas y métodos de construcción apropiados." (SEDUE: p. 3) Para diseñar un relleno sanitario es imprescindible tomar en cuenta los siguientes factores:

### 1. Tipo de terreno

- Plano: presenta pendientes como las mesetas y llanuras (la pendiente va de 0 a 5%).
- Ondulado: la pendiente que presentan no es continua, tienen unas partes planas y otras con pendiente media como los valles (la pendiente va de 5 a 10%).
- Escarpado: la pendiente es muy pronunciada como en las montañas, cerros y cañadas (la pendiente es mayor al 10%).
- Banco de material de préstamo abandonado: es el terreno que se utilizó como banco de material y tiene grandes hoyancos que pueden presentar una profundidad desde 5 a 15m.
- Combinado: presenta las características de los descritos anteriormente.

### 2. Método del relleno sanitario: Una vez que se sabe cual es el perfil del terreno disponible se procede a escoger el procedimiento de construcción y método del relleno sanitario. Así tenemos:

- Método de Trinchera: los residuos sólidos se depositan sobre el talud inclinado de la trinchera, donde se esparcen y se

compactan en capas hasta formar una celda que después se cubrirá con el material excavado de la trinchera, con una frecuencia mínima de una vez al día esparciéndolo y compactándolo sobre el residuo.

Este método se utiliza donde el nivel de aguas freáticas es profundo (ver Fig. 5).

- Método de Área: Los residuos sólidos se depositan sobre el talud inclinado y se compactan en capas inclinadas de 60 cm. para formar la celda que posteriormente se cubrirá con tierra.

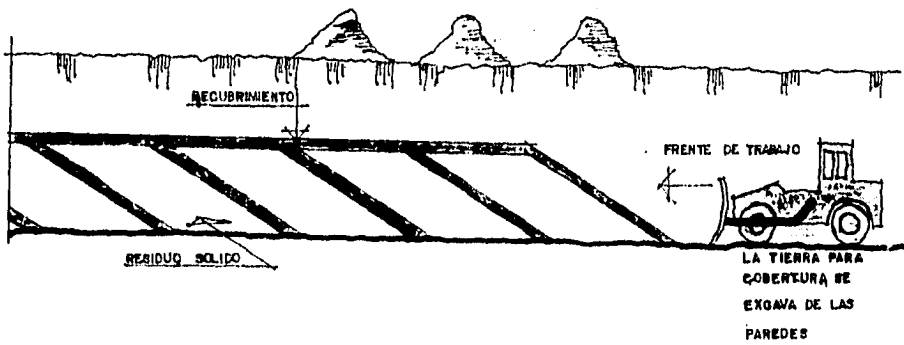
Al principio las celdas se construyen en uno de los extremos del área que se va a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo. El material de cubierta debe ser transportado de lugares cercanos.

Los terrenos empleados son: canteras abandonadas, inicio de cañadas, terrenos planos, depresiones y ciénegas contaminadas (ver Fig. 6).

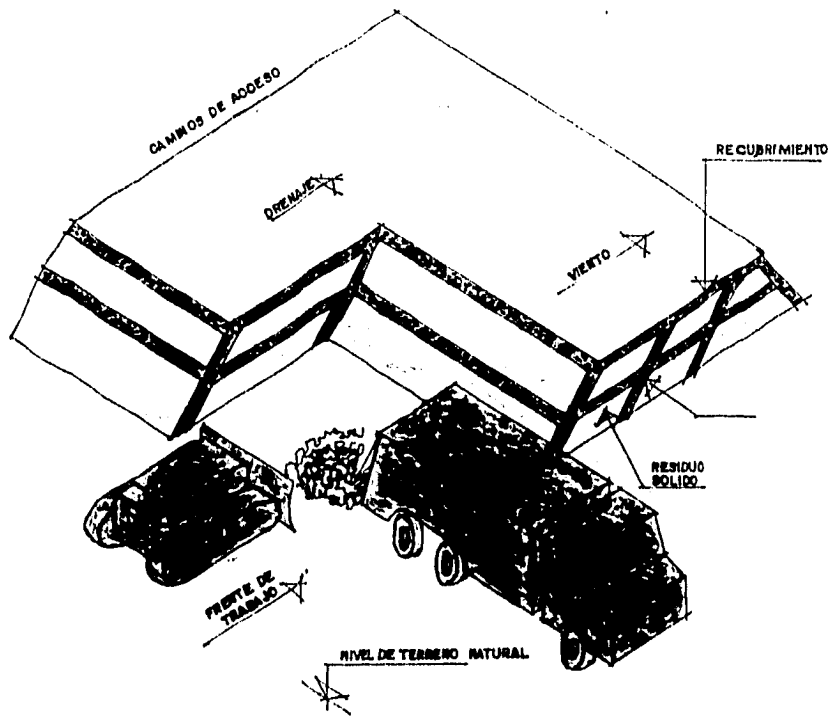
- Método Combinado: Este se emplea cuando las condiciones, geohidrológicas, topográficas y físicas del sitio son apropiadas. Así tenemos las siguientes variaciones (ver Fig. 7):
  - Se inicia con el método de trinchera y después se continúa con el método de área en la parte superior.
  - Se inicia con el método de área. Excavando el material de cubierta de la base de la rampa se forma una trinchera, la cual servirá también para ser rellenada.

La ventaja de éstos métodos es que aumentan la vida útil del sitio.

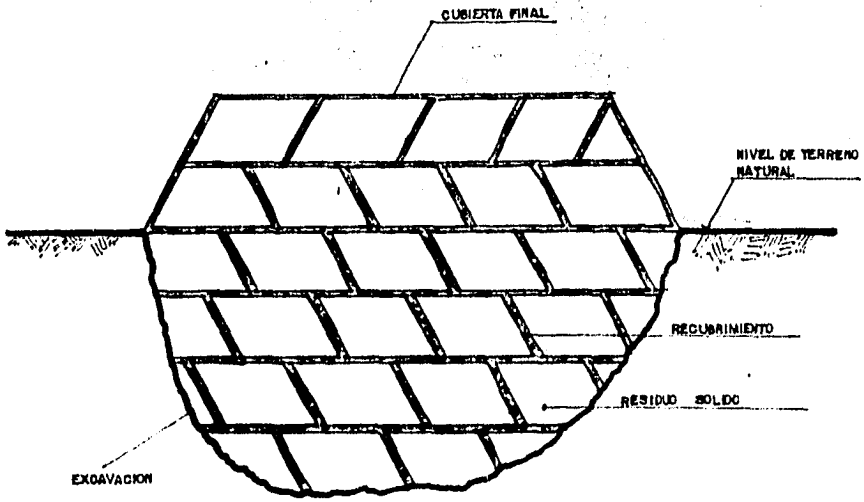




**RELLENO TIPO TRINCHERA**  
**FIG. 5**



**RELLENO TIPO AREA**  
**FIG. 6**



**METODO COMBINADO**  
FIG.7

3. Selección del sitio para el relleno sanitario: se deben considerar dos elementos importantes.

1. Aspectos Técnicos.

- Vida útil del sitio: El volumen del sitio debe recibir desechos sólidos durante 10 años por lo menos. Para calcular este volumen hay que tomar en cuenta la proyección futura de la población y el índice de generación de basura.
- Tierra para cobertura: El relleno sanitario debe ser auto-suficiente en tierra para su construcción. En caso contrario habrá que buscar bancos de material para cobertura, estos deben estar en un lugar accesible y cerca del sitio para que el costo de transporte sea mínimo.
- Topografía del sitio: Se recomienda una topografía donde se obtenga un mayor volumen aprovechable por hectárea. Por ejemplo: minas abandonadas a cielo abierto, manglares contaminados e inicio de cañadas.
- Vías de acceso: Es muy importante que el sitio se localice a corta distancia de la mancha urbana además de que esté bien comunicado y que sea transitable en toda época del año. Esto permitirá reducir el costo global del sistema.
- Vientos dominantes: La ubicación del sitio debe seleccionarse de tal forma que los vientos dominantes soplen en sentido contrario de la mancha urbana, para evitar la contaminación del aire en la ciudad. También hay que considerar la velocidad del viento y su capacidad de arrastre.
- Ubicación del Sitio: El Sitio debe ubicarse fuera de la mancha urbana, tomando en cuenta que al final de la vida útil del relleno, éste pueda usarse como área verde. La distancia de ubicación del Sitio va de 3 a 12 Km. de la mancha urbana.

- Geología: Es muy importante conocer la estratigrafía del suelo del sitio para el relleno sanitario. Se recomiendan suelos sedimentarios con características areno-arcillosas, por ser poco permeables y reducir la infiltración de líquido contaminante. Además son de fácil manejo para realizar excavaciones, cortes y también puede usarse como material de cubierta.
- Geohidrología: El estudio geohidrológico sirve para conocer la profundidad a la que se encuentra el nivel del agua subterránea, así como la dirección y velocidad del escurrimiento o flujo de ésta. Además permite evitar la contaminación de los acuíferos, conocer la línea máxima de excavación y el volumen disponible de material de cubierta.
- Hidrología Superficial: El sitio seleccionado debe estar lejos de corrientes superficiales y cuerpos receptores de agua, además debe contar con una red de drenaje pluvial para evitar los escurrimientos dentro del relleno sanitario.

## 2. Tenencia de la Tierra

Para iniciar el proyecto de un relleno sanitario el Municipio responsable debe contar con un documento legal que le autorice la construcción del relleno sanitario. También debe de estar indicado el periodo y el uso futuro del mismo.

Para la selección del sitio se recomienda utilizar los factores de evaluación mostrados en las tablas 1 y 2.

**Tabla 1. Factores de Evaluación para la Selección del Sitio**

Conceptos que influyen en la selección del Sitio	Opciones		
	Excelente	Buena	Regular
Vida útil	Mayor de 10 años	5 a 10 años	Menor de 5 años
Tierra para cobertura	Autosuficiente	Acarreo cercano	Acarreo lejano
Topografía	Minas a cielo abierto abandonadas	Comienzo de cañadas, manglares contaminados	Otros
Vías de acceso	Cercanas y pavimentadas	Cercanas, transitables	lejanas, transitables
Vientos dominantes	En sentido contrario de la mancha urbana	En ambos sentidos de la mancha urbana	En sentido de la mancha urbana
Ubicación del sitio	De 3 a 12 kms. de la mancha urbana	Entre 1 y 3 kms. de la mancha urbana	Menor de 1 km. y mayor de 12 km. de la mancha urbana
Geología	Impermeables	Semi-impermeable	Permeable
Geohidrología	Más de 30 m. de profundidad (nanto acuífero)	Entre 10 y 30 m. de profundidad	Menor de 10 m. de profundidad
Hidrología superficial	No hay corrientes superficiales	Lejano de corrientes superficiales	Cerca de corrientes superficiales
Tenencia de la tierra	Terreno propio	Terreno rentado a largo plazo	Terreno rentado a corto plazo

Fuente: Manual de Rellenos Sanitarios. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Subsecretaría de Ecología. Dirección General de Contaminación Ambiental.

**Tabla 2. Valores para la Selección del Sitio**

Conceptos que influyen en la selección del Sitio	Opciones		
	Excelente	Buena	Regular
Vida útil	1.000	0.850	0.700
Tierra para cobertura	0.700	0.595	0.490
Topografía	0.200	0.170	0.140
Vías de acceso	0.250	0.212	0.175
Vientos dominantes	0.050	0.042	0.035
Ubicación del sitio	0.400	0.340	0.280
Geología	0.400	0.340	0.280
Geohidrología	0.400	0.340	0.280
Hidrología superficial	0.300	0.255	0.210
Tenencia de la tierra	0.700	0.595	0.490
<b>Total</b>	<b>4.400</b>	<b>3.739</b>	<b>3.080</b>

Fuente: Manual de Rellenos Sanitarios. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Subsecretaría de Ecología. Dirección General de Contaminación Ambiental.

#### 4. Cálculo de la vida útil

"Se llama vida útil de un relleno sanitario al tiempo en años que se utilizará un sitio seleccionado para la disposición final de los residuos sólidos de una comunidad." (SEDUE: p. 51) Esta depende del volumen disponible del sitio, de la cantidad de desechos sólidos y del método de operación. Así, el volumen del sitio será ocupado por los residuos sólidos por disponer y por la tierra necesaria que se considera como material de cubierta (ver Fig. 8). Se recomienda que la vida útil del sitio sea tal que se pueda recuperar la inversión efectuada en la disposición final de los residuos sólidos.

La vida útil se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$" U = V_s / (365 G_1) \quad 1.$$

donde:

U es la vida útil del relleno sanitario, en años.

$V_s$  es el volumen del sitio seleccionado, en  $m^3$

$G_1$  es la cantidad de residuos sólidos recolectados en un tiempo determinado incluyendo el volumen del material de cubierta,  $m^3 / día$ ."

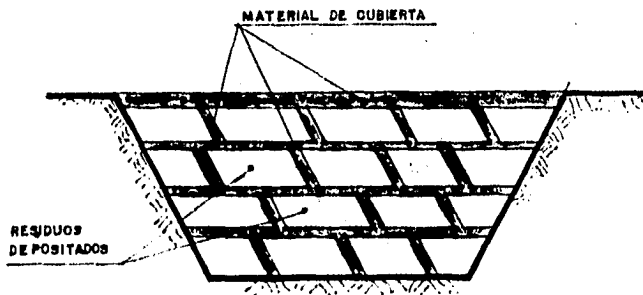
De 1. tenemos que:

$$" U = V_s / (G_v + \% G_v ) 365 \quad 2.$$

donde:

$G_v$  es la cantidad de residuos sólidos a disponer en  $m^3 / día$ .





**VOLUMEN DEL SITIO OCUPADO POR LOS RESIDUOS  
SOLIDOS Y LAS CAPAS DE MATERIAL DE CUBIERTA**  
FIG. 8

%  $G_V$  es un porcentaje de  $G_V$  correspondiente al material de cubierta"<sup>1</sup>

La cantidad de residuos sólidos a disponer se obtiene multiplicando la población de la comunidad por el índice de generación (que son los kilogramos de residuos generados por habitante y por día) y por la eficiencia de recolección.

Tomando en cuenta que:

- El índice de generación varía de 0.5% a 1 kg. de residuos/habitante-día y tiene un incremento de 1% al 3% anual. (SEDUE)
- La eficiencia de recolección no es superior al 70%. (SEDUE)

El valor de los residuos recolectados diariamente de una comunidad se calcula de acuerdo a la Norma Técnica NTRS-2-GENERACIÓN DE LA SEDUE, ésta Norma, considera lo siguiente:

$$G_p = (G_a + G_m + G_b) / 3 \quad 3.$$

donde:

$G_p$  es la cantidad promedio de residuos sólidos a disponer, de la comunidad, en ton/ día.

$G_a$  es la cantidad de residuos sólidos a disponer, del estrato de nivel socioeconómico alto, en ton/día.

$G_m$  es la cantidad de residuos sólidos a disponer, del estrato de nivel socioeconómico medio, en ton/día.

$G_b$  es la cantidad de residuos sólidos a disponer, del estrato de nivel socioeconómico bajo, en ton/día."

---

<sup>1</sup> NOTA: A menor cantidad de residuos en el relleno su vida útil aumentará.

Considerando que el incremento de la tasa de generación va de 1% a 3%, se selecciona el año futuro en que se desean depositar los residuos sólidos y se aplica la fórmula 4.

$$" G_{nf} = G_p ( 1 + rg ) " \quad 4.$$

donde:

$G_{nf}$  es la cantidad de residuos sólidos a disponer en el año "nf" en ton / día

$G_p$  es la cantidad de residuos sólidos presente a disponer, en ton / día.

rg es la tasa de incremento de generación y varía de 1% a 3%.

nf es el número de años considerado a futuro. "

Por otro lado, la cantidad de residuos sólidos anual de una comunidad, para cualquier año futuro se calcula con la fórmula 5.

$$" G_{I(nf)} = 365 G_{(nf)} " \quad 5.$$

donde:

$G_{I(nf)}$  es la cantidad de residuos sólidos para el año futuro "nf" en toneladas / año. "

Así, la cantidad de residuos sólidos total " $G_I$ " se calcula con la fórmula 6.

$$" G_I = \Sigma G_{I ( nf ) } " \quad 6.$$

El volúmen acumulado en  $m^3$  / año, de los residuos sólidos se calcula con la fórmula 7.

$$V_{nf} = (365/P_v) \sum_{nf=1}^{nf} G_{nf} \quad 7.$$

donde:

$V_{nf}$  es el volúmen de residuos sólidos al año  $nf$  en  $m^3$

$G_{nf}$  es la cantidad de residuos sólidos por disponer en el año  $nf$  para un incremento de generación de 3% en ton / día.

$P_v$  es el peso volumétrico de los residuos sólidos, en  $ton/m^3$  "

Además, para obtener el volúmen de residuos sólidos de un año en particular hay que restar al valor del año deseado el valor del año anterior.

Para calcular el volúmen en  $m^3$  de material de cubierta acumulado necesario para el relleno sanitario se utiliza la fórmula 8.

$$V_m = 0,3 V_R \quad 8.$$

donde:

$V_m$  es el volúmen de material de cubierta del año  $nf$ , en  $m^3$

$V_R$  es el volúmen de los residuos sólidos del año  $nf$ , en  $m^3$ ."

Considerando un 30% del volúmen de los residuos sólidos como material de cubierta. (SEDUE)

Si se desea conocer el volúmen de material de cubierta de un año en particular hay que restar al valor del año deseado, el valor del año anterior al deseado.

Finalmente para calcular el volúmen necesario del relleno en  $m^3$  se usa la fórmula 9.

$$V_i = (V_i \text{ residuos sólidos} + V_i \text{ material de cubierta}) \quad 9.$$

donde:

$V_i$  residuos sólidos son los residuos sólidos en  $m^3/año$  de residuos sólidos del año  $i$ .

$V_i$  material de cubierta es el material de cubierta en  $m^3/año$  de material de cubierta del año  $i$ .

Considerando el incremento anual de 3% del índice de recolección o generación.

Si se considera un mismo volúmen total de residuos sólidos y material de cubierta se obtiene que a mayor profundidad del relleno, menor será el área superficial de éste.

Para calcular el área del relleno sanitario se hace lo siguiente:

- Se escoge el año de vida útil del relleno u otro año dentro del tiempo comprendido de la vida útil del relleno, el cual se denomina año futuro " $nf$ ".
- Se calcula la generación mediante las fórmulas 3, 4, 5 y 6.
- Se calcula el volúmen de los residuos sólidos con las siguientes fórmulas, según sea el caso:

$$V_{RT} = G_{(nf)} / P_V \quad 10.$$

$$V_{RT} = G_T / P_V \quad 11.$$

donde:

$P_V$  es el peso volumétrico de los residuos sólidos en el relleno sanitario, en ton/m . "

Para el volúmen de material de cubierta se calcula como:

$$" V_M = 0.25 V_R " \quad 12.$$

Para el volúmen total de residuos sólidos y material de cubierta, utilizamos:

$$" V_T = V_{RT} + V_M " \quad 13.$$

Finalmente se óbtiene el area del relleno sanitario con la fórmula siguiente:

$$" A = V_T / H " \quad 14.$$

donde:

$V_T$  son los residuos sólidos a disponer en ton/día en 10 años, a un incremento anual de 3% y compactados a un peso volumétrico de 600 Kg / m .

$H$  es la profundidad del relleno en m. "

Las tablas 3 y 4 presentan un ejemplo de aplicación de algunas de estas fórmulas.

Tabla 3. Parámetros de Capacidad para un Relleno Sanitario<sup>ii</sup>

Años nf	$G_{nf}$ ton/día	$G_{(nf)}$ ton/año	$V_{nf}$ $m^3$	$V_m$ $m^3$	$V_i$ $m^3$
1	51.5	18,79	31,329	9,399	40,78
2	53.0	19,34	63,571	19,072	82,58
3	54.7	19,96	96,847	29,055	125,78
4	56.3	20,55	131,096	39,330	170,56
5	58.0	21,17	166,379	49,915	216,35
6	59.7	21,79	202,697	60,810	263,75
7	61.5	22,44	240,110	72,034	312,56
8	63.4	23,14	278,678	83,604	362,82
9	65.3	23,83	318,402	95,521	414,53
10	67.2	24,52	359,282	107,785	467,67

Tabla 4. Área Necesaria para la Disposición Final de los Residuos Sólidos a Disponer en 10 Años<sup>ii</sup>

Profundidad del Relleno - m	Área Necesaria - $m^2$
3	155,892
6	77,946
12	38,973
18	25,982
24	19,486

<sup>ii</sup> NOTA: Supuestos del ejercicio: Residuos sólidos a disponer en ton/día igual a 50 con un incremento anual del 3% y peso volumétrico de los residuos sólidos compactados de  $0.6 \text{ ton}/m^3$ . Consultar fórmulas 4.5, 7.8, 9 y 14 del capítulo 5 para derivar  $G_{nf}$ ,  $G_{(nf)}$ ,  $V_{nf}$ ,  $V_m$ ,  $V_i$  y área necesaria, respectivamente.

## 5. Diseño de la celda diaria

"Se llama celda a la conformación geométrica que se les da a los residuos sólidos municipales y al material de cubierta, debidamente compactados mediante un equipo mecánico" (ver Figs.9 y 10). (SEDUE: p. 84)

Los elementos de una celda son:

### A. Altura, que depende:

- De la cantidad de residuos sólidos que se depositen.
- Del espesor de material de cubierta, tierra.
- De la estabilidad de los taludes.
- De la compactación.<sup>iii</sup>

### B. Largo

C. Ancho del Frente de Trabajo: El mínimo frente de trabajo depende de la longitud de la cuchilla del equipo que se empleó para la construcción de las celdas. Es recomendable que el ancho mínimo sea de 2 a 2.5 veces el largo de la cuchilla de la maquinaria. Este se puede obtener de la Tabla 5.

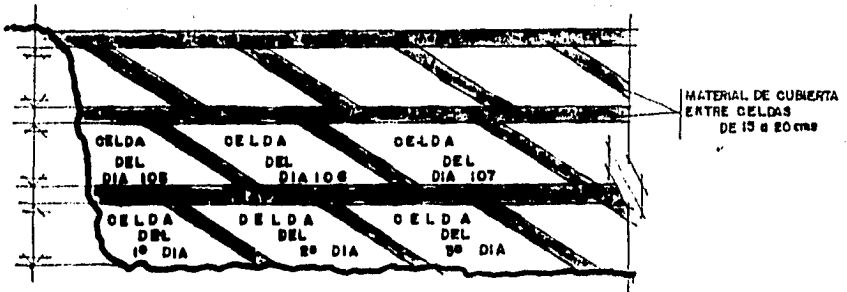
El frente de trabajo aumenta dependiendo del número de vehículos recolectores que llegan en la hora pico y se obtiene de la Tabla 6.

En los métodos de trincheras existe un sólo frente de trabajo, mientras que en el de área y combinado existen dos.

---

<sup>iii</sup> NOTA: A mayor altura de la celda, menor cantidad de tierra necesaria para cubrir los residuos.

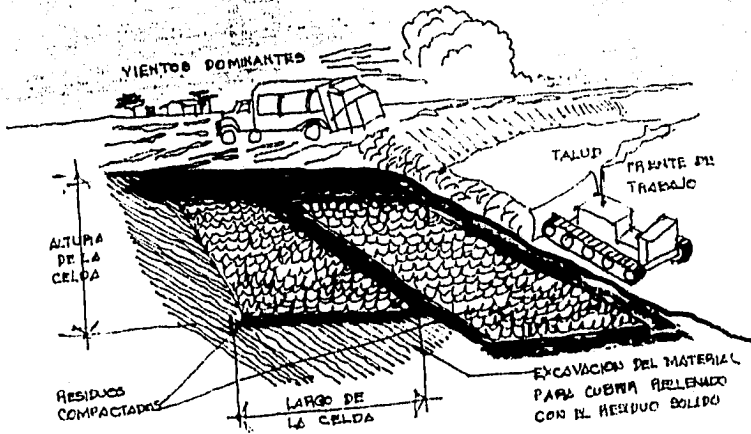
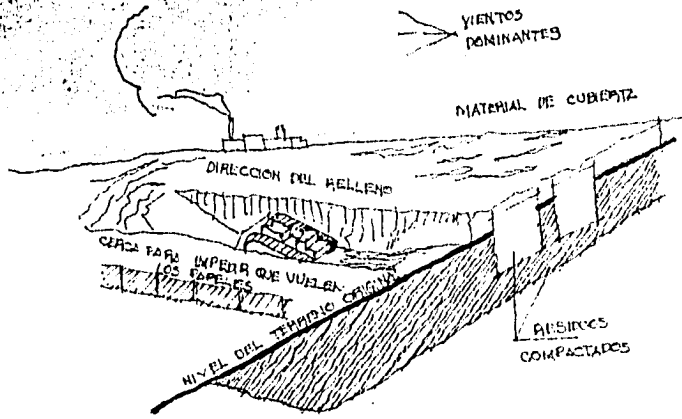




NOTA: ALTURA DE LA CELDA DE 204 cms

**CORTE DE UN RELLENO SANITARIO**  
FIG. 9

FUENTE: MANUAL DE SEDUE



**ELEMENTOS DE UNA CELDA**  
FIG. 10

FUENTE: MANUAL DE SEDUE.

**Tabla 5. Ancho Mínimo Recomendado de Celda o Mínimo de Frente de Trabajo Dependiendo de la Cantidad de Residuos que Lleguen al Relleno**

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

Fuente: Manual de Rellenos Sanitarios. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Subsecretaría de Ecología. Dirección General de Contaminación Ambiental.

**Tabla 6. Frente de Trabajo Recomendable en un Relleno Sanitario**

Número de vehículos que llegan al relleno sanitario en la hora pico	Frente de trabajo en metros
3	12
4	16
5	20
6	24
7	28
8	32
9	36
10	40
11	44
12	48
13	52

Fuente: Manual de Rellenos Sanitarios. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Subsecretaría de Ecología. Dirección General de Contaminación Ambiental.

#### D. Pendiente de los Taludes Laterales:

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

La relación conveniente es de 1 a 3 es decir, que por cada metro de altura se avancen 3 metros horizontalmente." (SEDUE: p. 85)

#### E. Espesores del Material de Cubierta Diario y del Último Nivel de Celdas:

"El material de cubierta es la tierra necesaria que cubre los residuos después de haberlos depositado, esparcido, y compactado; éste evita la proliferación de animales como ratas, insectos, malos olores, y la dispersión de los residuos fuera del relleno por los vientos.

Se recomienda un espesor de 15 a 20 cm compactados de tierra entre los niveles de celdas y de 60 cm en la capa final. " (SEDUE: p. 85)

### 6. Diseño de franjas

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

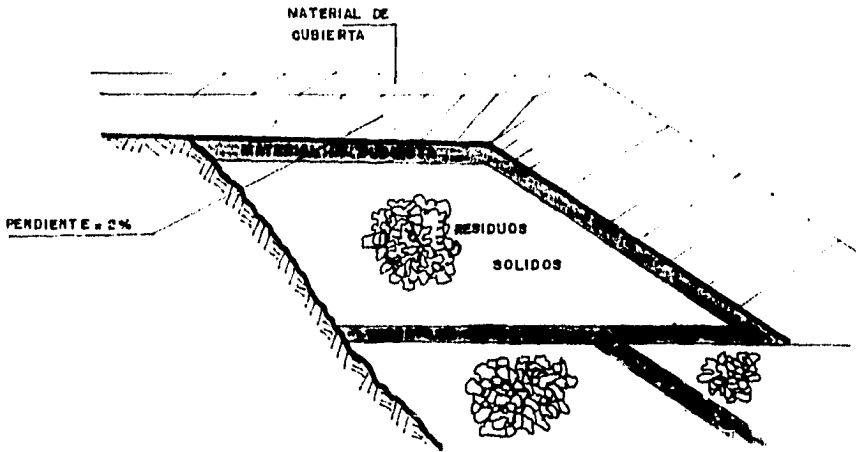
La franja se construye de extremo a extremo y va de la parte más alta a la parte más baja de la superficie del relleno.

Ya formada la franja un equipo mecánico debe nivelar la altura de las celdas con material de cubierta con el objetivo de que la superficie tenga la misma pendiente que la de la capa.

## 7. Diseño de Capas

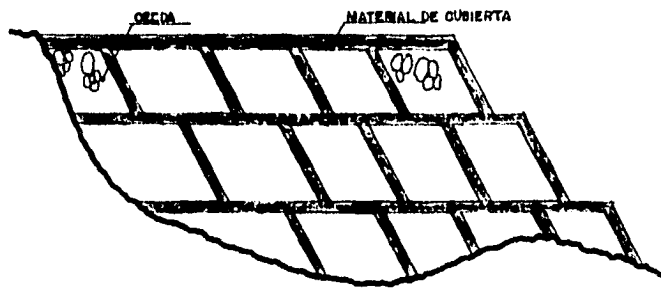
"Se llama capa al conjunto de celdas que ocupan un mismo nivel en el relleno." (SEDUE: p. 98)

La superficie de las capas debe tener una pendiente del 1 al 2%, a partir del eje longitudinal de la capa para evitar infiltraciones pluviales y facilitar el escurrimiento del agua de lluvia. Ver Figs. 11 y 12.

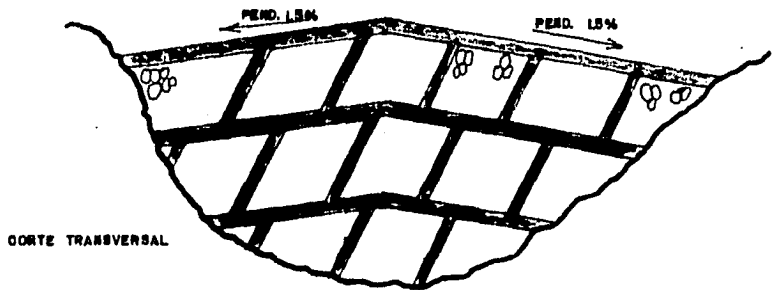


**CAPA SUPERFICIA CON MATERIAL DE CUBIERTA**  
FIG. II

FUENTE: MANUAL DE SEDUE



CORTE LONGITUDINAL



CORTE TRANSVERSAL

**CAPA SUPERFICIAL CON MATERIAL DE CUBIERTA**  
FIG. 12

## 8. Material Para Cubierta

Las funciones del material de cubierta son:

1. Impedir la entrada y salida de fauna nociva, bloqueándolos o ventilándolos a través de la cubierta. Esto dependerá de la profundidad planeada para el terreno recuperado por el relleno.
2. Ayudar al control de incendios ya que la cubierta y los taludes de cada una de las celdas del relleno ayudan a confinar el fuego.
3. Evitar la entrada de agua que aumenta el volumen de lixiviado.
4. Servir para el tránsito de vehículos bajo cualquier condición climática, lo que implica tener un buen drenaje.
5. La última cubierta de suelo debe ser capaz de mantener vegetación (ver Fig. 13).

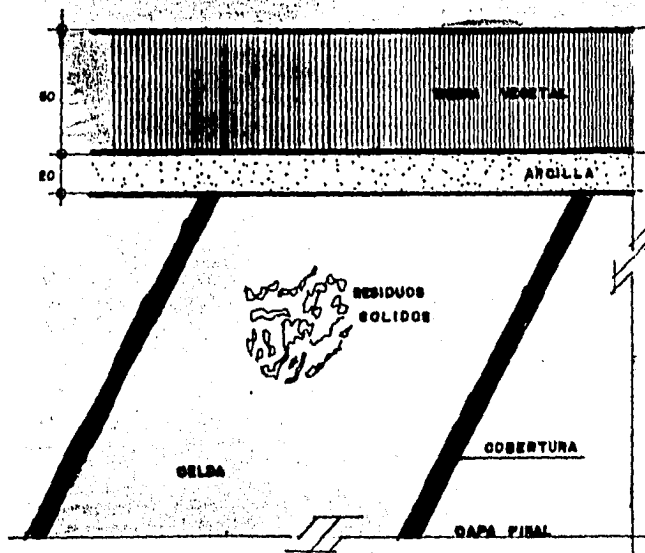
Para que el material de cubierta a utilizar cumpla con las funciones anteriores, es necesario que los suelos que se encuentran en el terreno del relleno se analicen para clasificarlos y así elegir el más adecuado según sea el caso.

Esto permitirá estimar el volumen de un suelo como cubierta y la profundidad de excavación para la disposición de desechos.

Entre los factores más importantes a considerar en el análisis, están:

- Forma y tamaño de la partícula
- Mineralogía
- Cantidad de Arcillas
- Contenido de Agua





**CAPA FINAL**  
**FIG. 13**

De manera general y de acuerdo a pruebas experimentales se recomienda una capa de 15 cm. de arcilla arenosa.<sup>iv</sup>

Finalmente también se tienen otras operaciones que forman parte indispensable para la realización de un relleno sanitario, operaciones que sólo se mencionarán por formar parte de áreas correspondientes de la Ingeniería Civil.

Dichas operaciones son:

1. Movimientos de Tierras, que implica:

- Desmonte y despalme
- Estudios de terracerías
- Estudios de préstamos
- Estudios de curva masa (método gráfico que permite determinar la distribución económica de los volúmenes excavados y calcular el costo necesario para llevar a cabo dicha distribución) (SEDUE: p. 120)

2. Impermeabilización y Control de Líquidos Percolados

- Se analizan el método natural y el artificial
- Se calcula la interfase o espesor mínimo para evitar riesgos de contaminación en aguas subterráneas

3. Pozos de monitoreo:

- Se hacen los análisis recomendados para el monitoreo
- Se ven los ámbitos encontrados en lixiviados para residuos municipales

---

<sup>iv</sup> NOTA: Los únicos suelos que deben ser evitados, son los suelos con alto contenido de materia orgánica y la turba.

#### 4. Sistema de Captación de Biogas:

En éste se estudia la composición de los gases producidos en un relleno sanitario, en función del tiempo desde que se finalizó la construcción de la celda.

#### 5. Sistema de Captación de Ecurrimiento:

Implica elaborar el drenaje superficial utilizando fórmulas de escurrimiento y calculando la sección hidráulica.

#### 6. Obras Complementarias:

Estas forman parte del relleno sanitario y sirven para proporcionar una operación adecuada del mismo y son:

- Estructuras para captación y desviación de aguas pluviales
- Estructuras para captación del biogas
- Obras para captación de lixiviados
- Cobertizo para equipo
- Caseta de vigilancia
- Caseta de control
- Cimentación de la báscula
- Cerca fija y móvil
- Señalamientos

Por otro lado el equipo mecánico a utilizar se clasifica de la siguiente manera:

1. Equipos Adaptados a la Operación del Relleno Sanitario.

1.1 Cargador de carriles o traxcavo; formado por dos unidades, un tractor y un cucharón.

1.2 Tractor de carriles o Bulldozer; formado por un tractor y una hoja topadora.

2. Equipos diseñados exclusivamente para la Operación de los Rellenos Sanitarios: compactador de residuos sólidos; formado por una hoja topadora, cabina de control de mando y remolque con rodillo dentado.

3. Equipo de Apoyo.

3.1 Retroexcavadora; ya sea montada sobre orugas o bien sobre neumáticos.

3.2 Traillas o equipo acarreador; ya sean standar o auto cargadoras.

3.3 Motoconformadoras; formadas por bastidor, motor, caseta, cuchilla y rastra.

3.4 Compactadores cilíndricos; estáticos o vibratorios.

### 5.3 Aprovechamiento de cada tipo de basuras y desperdicios

#### 5.3.1 Para tecnologías de tratamiento

##### Reciclaje

- El papel se usa para la fabricación de papel corriente.
- El vidrio para formar botellas, vidrio blanco incoloro y vidrio de color.
- El metal para latas vacías.
- Los textiles para relleno en la fabricación de colchones corrientes.
- El hueso ya pulverizado para alimentación de ganado.
- La chatarra para fundirla.
- Los plásticos. El termoplástico por ser un plástico duro puede fundirse adquiriendo un valor comercial considerable, mientras que el plástico blando no es biodegradable, por lo tanto se usa para embotellar productos de valor económico.

##### Composteo

La parte orgánica ya biodegradada de la basura se usa como abono en los suelos de cultivo y los rechazos se usan en los rellenos sanitarios.

##### Compactación en bloques

Su uso va a depender según el revestimiento que tenga el bloque, así tenemos:

- Con revestimiento de tela de alambre y asfalto para tierras de relleno.
- Con revestimiento de tela de vinilo para tierras de relleno.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

### **5.3.2 Para tecnologías de disposición final**

#### **Incineración**

Las cenizas que se obtienen se usan como agregados de asfalto y cerámica.

#### **Relleno sanitario**

Se usan principalmente en la recuperación de terrenos que pueden ser utilizados como áreas de construcción o áreas verdes.

## 6. CONCLUSIONES

1. La contaminación por desechos sólidos es uno de los principales problemas urbanos que ha contribuido a degradar la calidad de vida en la Ciudad de México.
2. Los desechos sólidos generan problemas económicos, sociales y ambientales. Los económicos se relacionan a la falta de aprovechamiento de los beneficios que se pueden obtener mediante los diversos tratamientos de basura. Los problemas sociales se ven reflejados en las zonas marginadas en donde el problema de la basura se ve magnificado por las carencias económicas y de educación. Por su parte, el problema ambiental de los desechos sólidos está constituido por el daño a la salud y a la ecología causado por la disposición inapropiada de la basura.
3. El programa de manejo integral de los residuos sólidos para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México pretende dar solución al problema en cuestión. Así pues, con la rehabilitación y construcción de Estaciones de Transferencia, el control del manejo y confinamiento de residuos no aptos para el consumo humano, y la puesta en marcha de la Planta Incineradora de San Juan de Aragón empieza a darse solución a los problemas económicos, sociales y ambientales.
4. Considero que la técnica más adecuada para el tratamiento y disposición final de los desechos sólidos es la del Relleno Sanitario, puesto que permite la recuperación de terrenos que pueden usarse como zonas de construcción o áreas verdes.
5. Sería conveniente fortalecer la vida municipal en provincia descentralizar servicios, obligar a que las industrias contaminantes usen equipo anticontaminante y evitar que nuevas industrias se establezcan en la Ciudad de México.

6. Aplicando las fórmulas del capítulo 5 a un ejemplo teórico en donde se generan inicialmente 50 ton/día de desechos sólidos con un ritmo de crecimiento del 3%, obtenemos los valores mostrados en las tablas 3 y 4. Así pues, al final de una vida útil de diez años se generan 67.2 ton/día de desechos sólidos que equivalen a 24,528 ton/año. El volumen acumulado de basura corresponde a 359,282 m<sup>3</sup>, mientras que el de material de cubierta asciende a 107,785 m<sup>3</sup> para un total de 467,675 m<sup>3</sup>. Finalmente, el área ocupada por este relleno sanitario depende de su profundidad. Por ejemplo, a 18 metros de profundidad se requieren 25,982 m<sup>2</sup> de área para 467,675 m<sup>3</sup> de desechos sólidos y material de cubierta.



## BIBLIOGRAFIA

- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Subsecretaría de Ecología. Dirección General de Contaminación Ambiental. "Manual de Rellenos Sanitarios."
- Mendoza, Mungia, Pérez y Nancel. "Contaminación por Desechos Sólidos en el Distrito Federal." Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas. Instituto Politécnico Nacional, 1983.
- Sánchez Gómez, Jorge. "Bosquejo Histórico de los Residuos Sólidos de la Ciudad de México." Asociación Mexicana para el Control de los Residuos Sólidos y Peligrosos, A.C., 1993.