



5
24
308917

UNIVERSIDAD PANAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERIA
Incorporada a la
Universidad Nacional Autónoma de México

ANALISIS Y EVALUACION DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE LOS DESECHOS SOLIDOS EN LA CIUDAD DE MEXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
Area Industrial

P R E S E N T A N:

LUANNA DORDELLY REGALADO
GABRIELA MONROY CAZORLA

TESIS CON
FALLA LE 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.

I N D I C E

INTRODUCCION

CAPITULO I. MARCO TEORICO.

1. Conceptos Básicos.
 - 1.1 Definición.
 - 1.2 Características Generales.
 - 1.3 Clasificación General.
 - 1.3.1 Desechos Domiciliarios.
 - 1.3.2 Desechos Comerciales.
 - 1.3.3 Desechos de Mercado.
 - 1.3.4 Desechos Institucionales.
 - 1.3.5 Desechos de la Vía Pública.
 - 1.3.6 Desechos de Sitios de Reunión.
 - 1.3.7 Desechos de Parques y Jardines.
 - 1.3.8 Desechos de Construcciones y Demoliciones.
2. Barrido.
 - 2.1 Definición.
 - 2.2 Clasificación.
 - 2.2.1 Barrido Manual.
 - 2.2.2 Barrido Mecánico.
3. Almacenamiento.
 - 3.1 Definición.
 - 3.2 Tipos de Almacenamiento.
 - 3.2.1 Recipientes.
 - 3.2.2 Contenedores.
 - 3.2.3 Tolvas.
 - 3.2.4 Piso o Plataforma.
 - 3.2.5 Bandas.
4. Recolección.
 - 4.1 Definición.
 - 4.2 Métodos de Recolección.
 - 4.2.1 Método de Parada Fija.
 - 4.2.2 Método de Recolección en Patios.
 - 4.2.3 Método de Acera.
 - 4.2.4 Método por Contenedores.
 - 4.3 Frecuencia de Recolección.
 - 4.4 Vehículos.
 - 4.4.1 Características.
5. Tratamiento.
 - 5.1 Definición.
 - 5.2 Clasificación.
 - 5.2.1 Pirólisis.
 - 5.2.2 Composteo.
 - 5.2.3 Recuperación y Reciclaje.
 - 5.2.4 Incineración.

- 6. Disposición Final.
 - 6.1 Definición.
 - 6.2 Clasificación.
 - 6.2.1 Relleno Sanitario.
 - 6.2.2 Almacenamiento a cielo abierto.
 - 6.2.3 Disposición en el mar.

CAPITULO II. EL PROBLEMA DE LOS DESECHOS SOLIDOS EN LA CIUDAD DE MEXICO.

- 1. Generación.
- 2. Tipos de Fuentes y composición.
- 3. Sistemas de Recolección.
- 4. Tratamiento.
- 5. Disposición Final.

CAPITULO III. DESCRIPCION DE LAS TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE LOS DESECHOS SOLIDOS

- 1. Reciclaje.
 - 1.1 Reciclaje de los residuos sólidos en bruto.
 - 1.2 Reciclaje de los residuos sólidos incinerados.
- 2. Composteo.
 - 2.1 Tratamiento Mecánico.
 - 2.1.1 Recepción y almacenamiento de los desechos.
 - 2.1.2 Clasificación antes de la Trituración.
 - 2.1.3 Trituración.
 - 2.1.4 Clasificación después de la Trituración.
 - 2.2 Fermentación.
 - 2.2.1 Materiales Pesados.
 - 2.2.2 Materiales Ligeros.
 - 2.2.3 Mecanismo de la Fermentación.
 - 2.3 Procesos de Composta.
 - 2.3.1 Procedimiento Dano.
 - 2.3.2 Procedimiento Modificado de Tratamiento en Montones o sobre Superficies.
 - 2.3.3 Procedimiento Buhler Estático/Dinámico.
- 3. Incineración.
 - 3.1 Principios de Combustión.
 - 3.1.1 Características del aire comburente.
 - 3.1.2 Parámetros de Combustión.
 - 3.2 Instalación.
 - 3.2.1 Zona de Control.
 - 3.2.2 Zona de Maniobras.
 - 3.2.3 Zona de Almacenamiento.
 - 3.2.4 Zona de Alimentación.
 - 3.2.5 Hornos.

- 3.2.6 Parrillas.
 - 3.2.7 Cámara de Combustión.
 - 3.2.8 Cámara de Combustión Secundaria.
 - 3.2.9 Remoción de Desechos.
 - 3.2.10 Instalación Lavadora de Humos.
- 4. Relleno Sanitario.
 - 4.1 Selección del Terreno.
 - 4.2 Investigación del Sitio.
 - 4.2.1 Estudio Geohidrológico.
 - 4.2.2 Ciclo Hidrológico.
 - 4.3 Preparación del Sitio.
 - 4.3.1 Desmonte.
 - 4.3.2 Bardeado.
 - 4.3.3 Camino de Acceso.
 - 4.3.4 Básculas.
 - 4.3.5 Material de Recubrimiento.
 - 4.3.6 Oficinas y almacenes.
 - 4.3.7 Monitoreo.
 - 4.4 Descripción de los Métodos de Relleno Sanitario.
 - 4.4.1 Método de Trinchera.
 - 4.4.2 Método de Área.
 - 4.4.3 Método Combinado.
 - 4.5 Drenajes.
 - 4.6 Diseño de la Interfase Relleno Sanitario-Nivel de Aguas Freáticas.
 - 4.6.1 Cálculo de la Interfase.
 - 4.6.2 Cálculo de la Absorción de Desechos.
 - 4.6.3 Cálculo y características del Lixiviado.
 - 4.7 Control de Gases.
 - 4.7.1 Tipos de Gases.
 - 4.7.2 Métodos de Control.
 - 4.8 Vida Útil.
 - 4.8.1 Volumen de Desechos.
 - 4.8.2 Volumen de Corte y Relleno.
 - 4.8.3 Cálculo de la Vida Útil.
 - 4.9 Uso Final del Sitio.

CAPITULO IV. ANALISIS Y SELECCION DE ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS.

- 1. Características de los Métodos.
 - 1.1 Tecnologías de Tratamiento.
 - 1.1.1 Reciclaje.
 - 1.1.2 Composteo.
 - 1.1.3 Incineración.
 - 1.2 Tecnología de Disposición Final.
 - 1.2.1 Relleno Sanitario.
- 2. Bases para la Selección.
- 3. Paquete Tecnológico.
 - 3.1 Características del Paquete Tecnológico.
 - 3.2 Aplicación del Paquete Tecnológico.

4. Mercado Tecnológico.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION

Desde el inicio de la actividad humana y como consecuencia del crecimiento y evolución de las sociedades, el hombre se ha esforzado por elevar y alcanzar un mejor bienestar social, esto lo ha llevado a grandes adelantos en todos los campos: doméstico, comercial, industrial, de servicios, tecnológico, etc. Sin embargo el desarrollo y progreso de los asentamientos humanos ha propiciado el enfrentamiento de grandes problemas que afectan la calidad del medio ambiente dentro de los cuales cabe resaltar la generación de desechos sólidos; cuyo análisis constituye el objetivo de esta tesis. Se consideran desechos sólidos, todos aquellos materiales que su propietario o productor elimina por considerarlos carentes de valor para retenerlos. Los desechos sólidos surgen como un problema en el momento en que es abandonada la vida nomada por la sedentaria formandose así las primeras civilizaciones.

Hace aproximadamente dos siglos empezaron a aplicarse soluciones racionales para resolver el problema de los desechos sólidos. El ritmo en que se producen no esta de acuerdo con la capacidad para transformarlos y deshacerse de ellos. Pasando por alto los beneficios económicos que este proceso traería a la sociedad.

El desarrollo del país se ha traducido en mayores niveles de producción y consumo de bienes y servicios para grupos cada vez mayores. El proceso de industrialización ha ido en rápido aumento, por lo que se han implementado un mayor número de empleos para la población creciente dando con esto nuevas posibilidades de ingresos permanentes y mejores niveles de vida.

La industrialización, el crecimiento demográfico y la urbanización, traen consigo efectos secundarios que se manifiestan en desequilibrios sociales, económicos y ambientales.

La tendencia de la Ciudad de México a crecer en extensión y en densidad de población, obliga a la incorporación de nuevas técnicas para satisfacer las necesidades que sus habitantes demandan.

Una de las principales causas de contaminación ambiental es la producción de desechos generados en la distribución, producción y/o consumo de bienes y servicios, cuyo volumen aumenta en proporción directa al incremento demográfico.

Las sociedades modernas son de consumo, por lo tanto lo son también de desperdicio. Al desecho no se le ha atribuido ningún valor dentro del ciclo económico, el cual finaliza en el momento en que el producto ha sido utilizado, ignorando que en todas las etapas de dicho ciclo existen desperdicios que forman parte del mismo y que poseen valores privados y sociales. Debe tomarse en cuenta que el desecho tiene intrínsecamente un valor económico, que debe ser reconocido especialmente en países subdesarrollados y con una alta densidad de población.

La presente tesis tiene como objetivos principales:

1. Establecer un marco teórico que comprenda la definición, clasificación y desarrollo de los conceptos que serán manejados en el presente trabajo.
2. Presentar una síntesis de la problemática actual referente al tratamiento y disposición final de los desechos sólidos en el Distrito Federal.
3. Describir las principales tecnologías de tratamiento y disposición final de los desechos sólidos.
4. Proponer un paquete tecnológico, que comprenda las alternativas más viables, como solución a la problemática expuesta anteriormente, basándonos en las necesidades y características de la ciudad de México.

Finalmente se darán conclusiones y recomendaciones enfatizando en el bienestar de la comunidad y su entorno ecológico.

CAPITULO I MARCO TEORICO

Los primeros procesos en el manejo de los desechos sólidos se caracterizaban por mantenerlos distantes de la actividad humana para bien de la salud. De ahí surgió la practica de depositarlos al aire libre, en los cursos de agua, así como el uso de fuego para su eliminación.

Sin embargo, como consecuencia del crecimiento de las poblaciones urbanas y del desarrollo industrial, actualmente la eliminación de los desechos sólidos ha ido constituyéndose en un problema cada vez más serio y un peligro para la sociedad.

De esta manera, y atendiendo a la carencia de superficie disponible para el depósito y concentración de desechos sólidos, a su nocividad, al aumento de población, etc., analizaremos a continuación todos los aspectos relacionados con este problema.

1. Conceptos Básicos

Desechos Sólidos

1.1 Definición.

Cualquier material, residuo de un proceso de producción, de transformación o de utilización que no posee valor para quien lo genera por lo que lo elimina, además de que son productos inevitables de toda actividad humana.

1.2 Características Generales.

Los desechos se caracterizan por su densidad, porcentaje de humedad, poder calorífico y relación carbono-nitrógeno (C/N).

- Densidad, la densidad se define como la masa por unidad de volumen.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

La densidad de los desechos varía dependiendo de la manipulación que experimenten desde el lugar de origen al sitio de disposición final, influyendo las capacidades de los medios de recolección y almacenamiento. Se establecen densidades por la capacidad de las unidades recolectoras, de prensil, fosa y descarga. Es conveniente subrayar que todas estas densidades son aparentes, por la heterogeneidad de los componentes de los desechos.

Se ha observado que los desechos de las zonas residenciales, y los desperdicios de artículos desechables tienen una densidad menor, es decir varía en el sentido

inverso al nivel de vida. Esto se debe principalmente a la utilización de embalajes perdidos que normalmente son elaborados con papel, cartón y plástico. La densidad de la basura es directamente proporcional al masa e inversamente proporcional al volumen.

- **Porcentaje de humedad:** se define como la cantidad de agua contenida en los desechos referida al peso en forma porcentual.

Los desechos contienen un alto porcentaje de agua, este varía considerablemente, dependiendo del lugar geográfico y de la estación del año. El porcentaje de humedad influye directamente en varios aspectos: en el poder calorífico utilizable de los desechos, en la rapidez de la descomposición de la materia orgánica y en el peso de la basura. Debido al clima de nuestra ciudad, el porcentaje de humedad de los desechos aumenta en verano y parte del otoño.

- **Poder Calorífico:** se define como el total de calor liberado por unidad de peso de material incinerado. El combustible y el comburente se toman a una temperatura de referencia, y los productos de la combustión se refieren a la misma temperatura.

El poder calorífico se expresa en julios, según la base internacional de unidades de calor. Con más frecuencia se expresa en kilocalorías ($1 \text{ kcal} = 4.185 \times 10^3 \text{ julios}$) y se refiere al kilogramo para los combustibles sólidos o líquidos.

Teóricamente, el vapor de agua formado vuelve a su estado inicial, es decir se condensa restituyendo el calor latente de vaporización, aumentando el contenido de calor.

Se ha observado que el poder calorífico ha ido creciendo en los últimos años, lo que se debe principalmente al incremento de desechos que contienen celulosa y las materias plásticas cuyos poderes caloríficos son muy elevados.

- **Relación carbono-nitrógeno:** la fermentación y descomposición de los compuestos orgánicos se efectúa por la actividad combinada de una amplia sucesión de microorganismos, los cuales requieren para su crecimiento carbono y nitrógeno para la síntesis de proteínas.

Cada microorganismo tiene una duración vital limitada y una mayor actividad en la descomposición de algún tipo particular de materia orgánica, complementando sus actividades entre sí. Esta actividad se manifiesta en cambios continuos de temperatura y sustrato, motivado por rompimientos progresivos de sustancias complejas ocasionando compuestos simples.

El grado de fermentación produce dos fenómenos contrarios:

- Mineralización de una fracción de la materia orgánica, que se descompone en gas carbónico y en amoníaco con producción final de ácido nítrico y nitratos, debido a la actividad bacteriana. Mediante este proceso, se reduce la cantidad de carbono y nitrógeno presentes en el residuo.
- Formación de complejos coloidales por microorganismos, compuestos de macromoléculas orgánicas que constituyen el humus, que es el residuo no degradable de la materia orgánica que componen los residuos sólidos. Aquí, la proporción del carbono aumenta en los residuos.

La fermentación de los desechos puede ser evaluada notablemente por la determinación de la relación carbono-nitrógeno (C/N).

1.3 Clasificación General.

Los desechos sólidos se clasifican en base a diferentes criterios:

Según su productor:

1.3.1 Desechos Domiciliarios.

Estos se generan cotidianamente en las viviendas unifamiliares y unidades habitacionales. Dichos desechos están compuestos principalmente por papel, cartón, trapo, vidrio, plástico, madera, cuero, algodón, envases de cartón "tetrapak", hueso, tierra, materia orgánica (desechos de comida) y materiales ferrosos y no ferrosos.

Según la definición anterior, no están comprendidas entre los desechos domiciliarios los objetos que por sus dimensiones, peso o naturaleza, no puedan cargarse en los vehículos recolectores, por lo que es conveniente subrayar que no se trata de una lista exhaustiva. Sin embargo, a ocurrido que los objetos de desecho de mayor tamaño de origen doméstico son cada vez más numerosos, debido a la elevación del nivel de vida y desarrollo del confort.

De este mismo modo los desechos domiciliarios tienden a ampliarse y la noción inicial de desechos domiciliarios se ha ido sustituyendo cada vez más por desechos urbanos. Estos comprenden, las basuras de pequeñas dimensiones, los objetos voluminosos de origen doméstico y los desechos comerciales e industriales que por su naturaleza y dentro de ciertos límites pueden considerarse domiciliarios.

1.3.2 Desechos Comerciales.

Se producen en las diferentes etapas de la distribución de bienes, en la preparación y en la venta de alimentos comerciales, dentro de estos, están los grandes almacenes, establecimientos de servicio tales como gasolineras, restaurantes, hoteles, supermercados, bares, y tiendas en general.

Su contenido es alto en papel, cartón, vidrio, lámina, plástico, envases de tetrapack, madera y materia orgánica.

1.3.3 Desechos de Mercados.

Son los desechos que se producen por la comercialización de los productos en los mercados permanentes y temporales.

En su composición se encuentran desperdicios de legumbres, frutas, flores, vísceras, carnes y otros de muy fácil descomposición.

1.3.4 Desechos Institucionales.

Estos se generan en oficinas, escuelas, universidades, edificios públicos, museos, bibliotecas, iglesias, etc.

Estan compuestos principalmente de papel, colillas de cigarro, madera, plástico y material ferroso.

1.3.5 Desechos de la Vía pública.

Son aquellos que son depositados y recolectados de la vía pública y estan constituidos por papel, tierra, arena, madera, plástico, hojas, colillas de cigarro, estiércol, piedras, animales muertos y vehiculos abandonados.

1.3.6 Desechos de Sitios de Reunión.

Son aquellos generados en teatros, cines, plaza de toros, estadios, etc.

Estan constituidos principalmente por papel, plásticos, cartones, vidrios, colillas de cigarro, madera y materia orgánica.

1.3.7 Desechos de Parques y Jardines.

Estan constituidos principalmente por materia orgánica, cartón, madera, papel, estiércol, pasto, ramas y hojas.

1.3.8 Desechos de Construcciones y Demoliciones.

Son todos aquellos producidos por la industria de la construcción. Su composición básica es la tierra, piedras, arena, tabiques, etc. La anterior clasificación conforman los desechos urbanos.

La cantidad de desechos urbanos producidos por habitante es variable y se encuentra definida en función de varios elementos:

- Nivel de vida.
- Estación del año.
- Estilo de vida de los habitantes.
- Movimiento de las poblaciones durante ciertos períodos cortos y estacionales (vacaciones).
- Clima.
- Métodos nuevos de acondicionamiento de las mercancías con tendencia a la práctica de embalajes desechables.

La cantidad de basura puede expresarse en peso o volumen. Nos es útil conocer el dato de la producción por habitante, es decir el tonelaje total recogido entre el número de habitantes servidos, ya sea por día o por año.

$$\frac{\text{producción}}{\text{habitante}} = \frac{\text{peso o volumen}}{\text{tiempo} \times \text{\# habitantes}}$$

De igual manera la composición y características de los desechos urbanos depende de varios factores:

- El tipo de país y zona
- El clima y la estación
- El tipo de habitat
- Al número de habitantes

Siendo los desechos urbanos esencialmente heterogéneos, es necesario definirlos como una composición que reagrupe a los elementos constitutivos en categorías que presenten cierta homogeneidad.

Estas categorías pueden tener diferentes clasificaciones. De un modo general los desechos pueden clasificarse según su composición en orgánicos e inorgánicos. Atendiéndose a su posible aprovechamiento en su disposición final los

clasificaremos como sigue:

- Recuperables: son todos aquellos que una vez seleccionados, puedan venderse a diferentes industrias. Estos materiales pueden ser hueso, trapo, cartón, papel, metal y vidrio.
- No recuperables nocivos: este grupo comprende básicamente a aquellos desperdicios provenientes de hospitales que no pueden ser acopiados sino que se deben incinerar en forma rápida y continua.
- No recuperables inertes: son aquellos desperdicios tales como piedras, arena, tierra, etc. Solo pueden ser utilizados como material de relleno.
- Transformables: comprenden todos aquellos residuos susceptibles de ser transformados mediante diversos procesos mecánicos y/o químicos en productos inocuos y aprovechables. Quedan abarcados en este grupo los desperdicios fundamentalmente orgánicos como son los provenientes de mercados, parques, comercios, casas habitación y los de algunas industrias.

2. Barrido.

2.1 Definición.

El barrido se clasifica en barrido manual y mecánico. Su función es recolectar los desechos generados en la vía pública, que provienen de fuentes generadoras naturales o producidas por la actividad del hombre.

2.2 Clasificación.

2.2.1 Barrido Manual.

Este se puede llevar a cabo en forma individual o por medio de cuadrillas.

El barrido individual es aquél en el cual una persona realiza el barrido por tramos en la calle depositando los desechos cuando lo crea conveniente en un bote metálico que se encuentra sobre una pequeña plataforma, la cual está soportada sobre ruedas (carrito).

El barrido por cuadrillas se forma por dos personas; uno se encarga del barrido y el otro del transporte del carro y de recoger los montones de desecho que el otro miembro de la cuadrilla va dejando.

El barrido solo se puede llevar a cabo en la cuneta, siendo responsables del barrido de la acera los ocupantes

del predio correspondiente.

El personal de barrido manual se le ha recomendado utilizar el siguiente equipo:

- Uniforme de color llamativo, guantes de carnaza, mascarilla de protección de las vías respiratorias, casco y zapatos de seguridad.
- Carrito, el cual deberá ser de tamaño óptimo sin ser de carga pesada.
- Escobas, pueden ser de vara o de fibra y generalmente de mango largo.
- Cepillos, en el caso de recoger materiales finos.
- Recogedores, pueden ser dos láminas o una lámina con mango alto, y en otras ocasiones cuando se tiene gran cantidad de desechos se utiliza la pala.

2.2.2 Barrido Mecánico.

Este consiste en el barrido de la vía pública mediante un equipo mecánico. Se recomienda este tipo de barrido en vías de transporte de intenso tráfico o largo recorrido (ejes viales y periférico) por ser riesgosa y costosa la operación de limpia mediante barrido manual.

Para este barrido existen varios tipos de barredoras, que van desde pequeñas máquinas para pavimentos peatonales hasta grandes barredoras de cunetas que usualmente tienen un motor auxiliar para proporcionar succión.

3. Almacenamiento.

3.1 Definición.

Es la acción de retener los desechos sólidos en un lugar seguro, y de un manera que no causen contaminación al ambiente y no proliferen la fauna nociva.

El almacenamiento tiene gran importancia para los sistemas de recolección, ya que teniendo un buen sistema de almacenamiento, se evitarán altos costos y mayor cobertura del sistema de recolección.

Los factores que influyen en el sistema de almacenamiento son:

- Protección de la salud pública.
- Volumen, densidad y características de los desechos.

- Sistema de recolección usado.
- Nivel socioeconómico.

3.2 Tipos de almacenamiento.

Los tipos de almacenamiento utilizados generalmente son los siguientes:

- Recipientes.
- Contenedores.
- Tolvas.
- Piso o plataforma.
- Bandas.

3.2.1 Recipientes.

Existen varios tipos de recipientes como son los botes de plástico, lámina galvanizada, bolsas de plástico o papel y cajas de madera o cartón.

Los tipos de recipientes más recomendables en casas habitación, así como en áreas donde se genera poca cantidad de desechos son los botes metálicos o de plástico.

Dichos recipientes deben cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

- El peso del recipiente lleno no debe sobrepasar a los 70 kg.
- No accesibles a insectos y roedores.
- De material no inflamable.
- Resistencia a cambios climatológicos.
- No contengan aristas afiladas.
- De material durable.
- Cilíndricos y con tapadera hermética.
- Con asas.
- Resistentes a la corrosión.
- De fácil manejo y mantenimiento.

- Impermeables.
- De precio accesible.

3.2.2 Contenedores.

Son cajas metálicas u de otro material apropiado que sirven para almacenar desechos sólidos en centros de gran generación. Su volumen varía de 1 a 6 metros cúbicos. La resistencia del material está en función de su peso volumétrico de los desechos y del sistema de vaciado que tengan los vehículos de recolección. Los contenedores pueden ser fijos o móviles.

Los requisitos mínimos que debe reunir el diseño de contenedores:

- Deberán ser construidos de un material resistente.
- Deberán ser diseñados de tal manera que puedan ser adaptados al mecanismo de los vehículos recolectores.
- El tamaño deberá determinarse en función del volumen, la frecuencia de recolección y la densidad de los desechos.

3.2.3 Tolvas.

Sirven para almacenar gran cantidad de desechos, como son los producidos por los centros comerciales o mercados. En estos casos las tolvas están provistas de equipo necesario para evitar la contaminación. Su objetivo es que el hombre no toque los desechos y con éstos minimizar el riesgo de contraer enfermedades y accidentes, por lo que serán descargados al vehículo recolector directamente.

3.2.4 Piso o plataforma.

Este tipo de almacenamiento es útil para casos en los cuales el material almacenado es inerte, muy voluminoso y ocupa mucho espacio, o bien cuando la generación es tan grande y periódica que el uso de contenedores resulta inoperante.

Los requisitos para el diseño de piso o plataforma son los siguientes:

- Localización de un área específica dentro del local, la cual será de uso exclusivo para el almacenamiento de estos desechos sólidos.
- La zona de almacenamiento tendrá la capacidad necesaria para albergar todos los desechos generados.

- El piso deberá ser impermeable y fácil barrido.
- El Área deberá estar cubierta por un tejaban con el objeto de evitar la emisión de partículas, además de evitar la entrada de durante la época de lluvias.
- Deberá tener un sistema de drenaje.

3.2.5 Bandas.

Son utilizadas como almacenamiento instantaneo, ya que al generarse los desechos durante el proceso, éstos se descargan inmediatamente a este sistema, para depositarse posteriormente en tolvas o en vehículos recolectores.

Este tipo de almacenamiento se utiliza cuando los desechos son generados en forma continua. Su objetivo es evitar el contacto de los desechos con los empleados, ya que normalmente se utilizará en la industria que trabaja con desechos peligrosos.

La banda deberá reunir las siguientes características:

- Resistencia a la tensión e impacto.
- Larga duración.
- Resistencia a la corrosión, abrasión, y corte.
- Resistencia a la temperatura.

4. Recolección.

La necesidad de organizar un servicio para la retirada sistemática de los desechos sólidos domiciliarios, apareció desde que los hombres se reunieron en las ciudades.

Cuando la basura no estaba compuesta mas que por cenizas y desechos fermentables, la dispersión en el habitat permitia a cualquiera abandonarlas en la proximidad de su vivienda, se podía dejar en forma efectiva sin grandes inconvenientes.

Hoy en día las colectividades urbanas no pueden permitirse, el no organizar un servicio de recolección de desechos, periódico por lo menos una vez a la semana de los residuos putricibles y al menos una vez al mes que se remuevan los productos inertes, como botellas y chatarra, desde los sitios de generación hasta los sitios de tratamiento o disposición final.

4.1 Definición.

Comprende un lazo de unión entre el almacenamiento en el

lugar de origen y el transporte hasta el sitio de disposición final, instalación de tratamiento o estación de transferencia, de un modo organizado que permita un servicio eficiente de bajo costo, y sin producción de molestias a la sociedad.

El rendimiento y la eficiencia de un sistema depende de ciertos factores:

- La capacidad de los vehículos recolectores
- El número de hombres por vehículo
- Tipo de desechos recolectados
- Número de viajes por día al sitio de disposición final
- Magnitud del sector que sirve cada vehículo.
- Costos directos de recolección e indirectos de tratamiento y/o disposición final.

Cuando existe una adecuada recolección de los desechos sólidos, obtenemos un mayor control de la contaminación tanto de agua, aire y suelo, ya que se pueden controlar los tiraderos de cielo abierto mismos que se han creado en zonas donde no hay un servicio de recolección. Otro ventaja del sistema de recolección es la eliminación de la fauna nociva, destruyendo así agentes transmisores de enfermedades al hombre y animales domésticos, de igual manera se obtiene la disminución de olores desagradables y la conservación de la ecología.

4.2 Métodos de recolección.

Existen distintos procedimientos de realizar la recolección de desechos domiciliarios, éstos son:

- Parada fija.
- Acera.
- Patios.
- Contenedores.

4.2.1 Método de parada fija.

Consiste en diseñar rutas de recorrido para cada unidad recolectora, en la cual se señalan en que lugar se efectuarán las paradas, para que concurren los usuarios a entregar sus recipientes y los descargue en el interior del vehículo.

Las paradas se determinan de manera, que la gente no camine mas de cincuenta metros con sus recipientes.

El vehículo avisará su llegada por el medio acústico (campana o bocina) identificada por la población a la que se va a servir. También puede colocarse un anuncio en el lugar de la parada donde indique el horario y los días de recolección.

4.2.2 Método de recolección en patios.

Este método consiste en que el vehículo recolector efectúa una parada por cada casa y los operadores entran al patio o lugar donde se encuentre depositada la basura, recogen, acarrean, vacían y regresan el recipiente a su lugar de origen siendo este el ciclo por cada casa a servir.

Existe también una variante que tiene una similitud con el método anterior; la cual consiste en que la población a una hora determinada coloca sus desechos generados en la calle y el vehículo recolector efectúa paradas por cada casa que tenga el recipiente a la vista, los operadores llevan los recipientes al interior del patio o garage de la casa servida.

4.2.3 Método de acera.

Este consiste en que el usuario debe sacar su recipiente a la banqueta cuando es avisado por un claxon o campana, el vehículo hará paradas por cada recipiente pasando lentamente para que el operador tenga el suficiente tiempo de vaciar y depositar el recipiente en el lugar donde lo recogió. El usuario se encargará en retornar el recipiente vacío al interior de su domicilio.

A la vez el método puede efectuarse de dos maneras la primera consiste en que solamente se sirva a una acera y el segundo a ambas, esto depende de las características de la zona a la que se esta sirviendo.

4.2.4 Método de recolección por contenedores.

El método es generalmente utilizado por centros de mayores cantidades generadas de residuos como pueden ser los centros habitacionales, multifamiliares, centros comerciales, etc.

Consiste en utilizar sacos de gran capacidad o cajas-metálicas con cierta capacidad volumétrica, instaladas para que los usuarios depositen sus desperdicios en dichos contenedores. El tamaño de los contenedores depende del número de usuarios, de la frecuencia de recolección y del

tipo de camión que los vacía.

Los vehículos recolectores pasan a recoger, vaciar y volver a depositar los contenedores en sus lugar de origen. En este método la frecuencia de recolección es mayor que en los otros métodos antes descritos.

4.3 Frecuencia de recolección.

La frecuencia de recolección de los desechos sólidos está determinada por varios factores:

- El tiempo que tardan los desechos en producir malos olores en condiciones medias de temperatura de cada región.
- La capacidad, el tipo de almacenamiento y el tiempo que puedan almacenarse los desechos en el recipiente en condiciones convenientes.
- El ciclo de reproducción de la mosca, la cual en temporadas estacionales calurosas tiene un ciclo de duración de siete días.

Se recomienda, que en los sectores habitacionales, la frecuencia de recolección sea de dos a tres veces por semana. En los sectores comerciales, se puede hacer de tres veces por semana pero si el establecimiento lo requiere ya que su volumen producido es demasiado grande, puede hacerse diariamente.

4.4 Vehículos.

En la recolección de los desechos sólidos uno de los aspectos más relevantes para resolver la problemática es la elección de los vehículos recolectores.

Las cualidades que deben reunir un vehículo recolector son:

- Rapidez de recepción de basura.
- Llenado máximo y facilidad de vaciado.
- Tolva de descarga que permita asegurar las operaciones de volcado de los recipientes fácilmente, en las mejores condiciones de higiene.
- Funcionamiento silencioso.
- Manejabilidad máxima de circulación.
- Mantenimiento y facilidad de lavado.
- Reparto equilibrado de cargas sobre los ejes de tracción

del camión.

- Seguridad.

- Estética.

Los vehículos recolectores se componen de tres partes principalmente: el chasis, carrocería y motor.

4.4.1 Características.

Existen varios tipos de vehículos para la transportación de desechos, según el tipo de compactación que estos tienen se clasifican en:

- Vehículo compactador de carga frontal:

Estos vehículos son de 20 a 25 metros cúbicos de capacidad, con diferentes mecanismos de vaciado. Levantan contenedores de diferentes tamaños según sea su potencia. Su eficiencia de recolección es muy alta cuando se usan adecuadamente; se utilizan principalmente para recolectar desechos en contenedores ubicados en centros de gran generación como mercados, hospitales, fábricas, supermercados, unidades multifamiliares, etc.

- Vehículo compactador de carga trasera:

Se utiliza en la recolección domiciliar por su adecuada eficiencia y por su baja altura de descarga de los desechos. Este equipo puede recolectar de 12 a 25 metros cúbicos de capacidad.

- Vehículo compactador de carga lateral:

Existen dos tipos principalmente: el de forma rectangular y de forma cilíndrica, variando en capacidad entre 12 a 15 metros cúbicos. Este tipo de vehículo tiende a desaparecer ya que por su altura de descarga afecta directamente a su eficiencia.

- Vehículo de volteo sin compactación:

Este equipo es utilizado para la recolección de basura que no requiere ser compactado.

Los requisitos que deben cumplir los vehículos de recolección son los siguientes:

- Los desechos transportados deberán estar siempre cubiertos.

- Deberán estar contruidos a prueba de fallas.

estructurales.

- La altura de descarga no debe exceder de 1.20 metros.
- Deberán ser seguros para la cuadrilla de recolección.
- Deberán contar con los sistemas de descarga por volteo o por empuje con pistón o cadenas.

5. Tratamiento.

5.1 Definición.

Se define como el proceso de transformación de los desechos en productos reutilizables eliminando o reduciendo su peligrosidad en la disposición final.

5.2 Clasificación.

En el tratamiento de desechos sólidos los métodos usados en los países desarrollados son los siguientes:

- Pirólisis.
- Composteo.
- Recuperación y Reciclaje.
- Incineración.

5.2.1 Pirólisis.

El término pirólisis se refiere a la descomposición físico-química del material orgánico constituyente de los desechos, debido a la acción de temperatura en una atmósfera deficiente de oxígeno.

Por medio de la pirólisis la materia orgánica es convertida rápidamente en gases (principalmente hidrógeno, metano, monóxido de carbono y anhídrido carbónico.), líquidos (agua y sustancias químicas orgánicas como ácido acético y metanol) y carbón inerte. Los factores tales como tiempo, temperatura, presión y la presencia de catalizadores determina que productos son formados. Los métodos de pirólisis existentes se dividen en dos categorías:

- Alta temperatura 1650 C.
- Convencional 815-1100 C.

Los objetivos primordiales que se buscan en la pirólisis son:

- Reducir el volumen cada vez más creciente de los desechos (los productos representan cerca del 50% del volumen inicial de la materia original) a ser dispuestos de una manera tal que no agredan el ambiente.
- Convertir la materia orgánica de los desechos en una fuente de energía.

5.2.2 Composteo.

Se define como el proceso mediante el cual se obtiene el humus o composta (regenerador orgánico de suelos) a partir de la fermentación aeróbica controlada de la materia orgánica contenida en los desechos.

El composteo es un proceso que incluye transformaciones físico-químicas y biológicas de la fracción orgánica de los desechos sólidos bajo condiciones controladas. El proceso debe ser aeróbico y termofílico, pudiendo efectuarse en pilas, digestores mecánicos o dispositivos similares.

El composteo comienza con una colección heterogénea de materia orgánica que contiene una población extensiva de bacterias y hongos. Cuando la temperatura, humedad y niveles de oxígeno son favorables, dichos microorganismos crecen y comienza el proceso de descomposición aeróbica. Durante este crecimiento los microorganismos utilizan parte del carbón y nitrógeno disponible y otros elementos nutrientes, seguidamente la temperatura empieza a incrementarse debido al calor generado por oxidaciones biológicas. Por otra parte la materia orgánica actúa como aislante, es decir gran parte del calor es retenido en la pila de composteo y conforme se disminuye la descomposición de materia orgánica, la pila se enfría.

Los constituyentes químicos en las basuras son alterados como resultado de la actividad microbiológica sobre la materia orgánica; la que obtiene el humus (regenerador de suelos).

La descomposición puede ocurrir de manera natural o ser activado por el hombre.

La temperatura es un parámetro fundamental durante el proceso. Cuando el proceso inicia, la temperatura de la materia orgánica es la misma que la del medio ambiente; la cual conforme los microorganismos crecen la temperatura se eleva. Se le llama estado mesofílico mientras la temperatura no rebasa los cuarenta grados centígrados, debido a que la mayor parte de los microorganismos iniciales mueren alrededor de esta temperatura, para ser reemplazados por los que viven a temperaturas más elevadas. El estado termofílico es el que se halla entre los cuarenta y setenta grados. Los microorganismos en este estado causan la mayor

parte de la actividad del composteo. A continuación la temperatura baja gradualmente y regresa al estado mesofílico. Al final del proceso biológico, la temperatura de la composta es similar a la del medio ambiente.

Otro parámetro importante es la humedad, dado que la actividad microbiológica cesaría sin agua suficiente. Por debajo del cuarenta por ciento en peso de humedad la materia orgánica no se descompone rápidamente. Arriba del sesenta por ciento, el composteo tiende a convertirse en anaeróbico, causando la emisión de malos olores. El contenido óptimo de humedad se encuentra entre el cincuenta y sesenta por ciento.

Los microorganismos aeróbicos requieren oxígeno para su crecimiento. Si el nivel de oxígeno es bajo, los microorganismos aeróbicos mueren y son reemplazados por microorganismos anaeróbicos. Desafortunadamente estos organismos no descomponen la materia orgánica tan rápidamente como los aeróbicos y además producen ácido sulfhídrico. Una manera de aerear la pila para obtener el suficiente oxígeno es el volteo o mezclado por medios mecánicos.

Finalmente el aspecto más importante en el proceso es la relación C/N y el rango de descomposición. Los microorganismos requieren carbón para su crecimiento y nitrógeno para la síntesis de proteínas. En promedio utilizan treinta partes de carbón por una parte de nitrógeno. Los valores óptimos reportados por investigación están entre 26 a 35:1. Si la relación es mayor a 35 el proceso se vuelve ineficiente y el composteo requiere mayor tiempo para completarse. Si la razón es menor a 26 el exceso de nitrógeno es convertido en amoníaco, que es desechado en la atmósfera.

La molienda acelera la rapidez de descomposición, incrementa el oxígeno disponible y permite un fácil manejo y volteo.

El pH de los desechos es inicialmente ácido y conforme el proceso de desarrollo se acidifica hasta que comienza la formación de amoníaco entonces disminuye la acidez hasta neutralizarse o mantenerse ligeramente alcalino. Estos niveles son mantenidos de forma natural por el humus.

En resumen se puede decir que un proceso de composteo concluirá satisfactoriamente; si se lleva un control en la formación apropiada de la pila, en el contenido de humedad y el volteo constante de la pila para lograr el suministro adecuado de oxígeno.

Los parámetros que indican de un aceptable grado de composteo son: elevación del pH, variación de la temperatura, disminución de la relación C/N, (hasta 25 a 1) cambios de color (grisáceo) y ausencia de olores

desagradables.

5.2.3 Recuperación y Reciclaje.

Según la ley de la conservación de la materia y la energía, la destrucción de los desechos sólidos urbanos resulta imposible. Solamente se pueden transformar por medios mecánicos, químicos o biológicos en otro tipo de materiales sólidos, líquidos y gaseosos.

La reflexión sobre este hecho induce a pensar en la posibilidad de utilizar métodos de tratamiento de forma que los productos resultantes de su transformación puedan ser reutilizados y a la vez se obtengan con un mínimo riesgo de contaminación ambiental. Si analizamos la composición de los desechos se observa que representan una fuente potencial de materias primas siempre que se consiga su concentración selectiva.

El fundamento del reciclaje es la obtención de esta concentración selectiva por medio de la aplicación de principios físicos y químicos de acuerdo con las características diferentes de los distintos componentes.

Se define el reciclaje como un método de tratamiento de desechos sólidos que permite obtener fracciones compuestas por agrupaciones de sus componentes sin estar estos sometidos a alteraciones químicas. Estas fracciones debidamente acondicionadas o transformadas, serán productos viables de ser reutilizados.

Se consideran dos variantes:

- Reciclaje directo, el aprovechamiento directo de materiales recuperables sin sufrir alteraciones importantes en su estado físico, composición química o estado biológico. Ejemplos: utilización de los materiales recuperables, utilización de calcin (vidrio recuperado) en la industria cristalera, utilización de papel recuperado para fabricar pasta de papel, reutilización de plásticos.
- Reciclaje indirecto, el aprovechamiento de los materiales recuperados sometidos a una transformación, permitiendo su utilización en forma distinta a su origen. Ejemplos: utilización del vidrio como material de relleno, utilización del papel recuperado destinado a la fabricación de paneles aislantes para uso en construcción.

Clasificación de los materiales recuperables:

- Cartón y papel craft. Este tipo de material es de color

cáfe claro, normalmente proviene de cajas, empaques, etc. También se pueden considerar materiales similares como son las bolsas para cementos y algunas bolsas comerciales que tienen el mismo color.

Se pueden seleccionar este tipo de materiales separando el que se encuentra limpio del que se encuentra sucio en exceso, ya que esto determina los precios.

Este tipo de material puede ser utilizado como materia prima para industrias manufactureras de cartón y papel.

- Papel. El papel que en general contiene la basura se puede clasificar en dos grupos, dependiendo del grado de limpieza.
- Papel comercial. Es todo aquel que se recolecta en oficinas y comercios, en general de buena calidad y que se encuentre relativamente limpio, pues normalmente no se mezcla con desperdicios orgánicos.
- Papel doméstico. Es aquel que se recolecta en forma domiciliaria y que por lo tanto con frecuencia viene mezclado con desechos orgánicos de toda clase y consecuentemente se encuentra bastante sucio.

Ambos tipos de papel son utilizados como materia prima por las industrias papeleras que se dedican a la fabricación de cartón gris, cartoncillo, charolas para huevo, cajas de zapatos, etc.

- Trapo. El trazo que se encuentra en la basura es de distintas clases, puesto que normalmente es ropa de diferentes tipos y bastante usada.

Este material, con objeto de venderlo a los mejores precios posibles, se debe clasificar en los distintos grupos según sus componentes; es decir, separar el algodón, lana, estambre, fibras sintéticas y trazo gris. El algodón de buen tamaño se puede utilizar, mediante un lavado previo, para la limpieza de maquinaria de imprenta, etc.

El estambre, casimir y fibras sintéticas, se pueden utilizar como materia prima por alguna de las fábricas de dichos materiales.

El trazo gris se puede utilizar como materia prima para hacer borra, la que a su vez se puede utilizar como relleno para sillones, cojines, etc.

- Chatarra Metálica. Es el conjunto de materiales metálicos que pueden ser utilizados como materia prima para empresas siderúrgicas o de fundición.

- Vidrio. Esta constituido por envases y pedacería diversa. Los envases pueden ser de dos clases; los que tienen valor como tal y los que unicamente tienen valor como vidrio.

En cuanto a la pedacería de vidrio y los envases que no tienen valor como tales, son utilizados en empresas que elaboran productos de vidrio. Este tipo de material se clasifica segun su color o bien si esta revuelto.

- Plástico. Este se clasifica en dos categorías: el sólido y el de película.

El sólido es aquel que se utiliza en envases, tinas, tuberías, etc.

El de película es aquel que se utiliza generalmente en la fabricación de bolsas y materiales de envoltura.

El sólido se separa por su tipo y color, posteriormente se lava y se muele con el fin de que sea usado como materia prima para productos de segunda calidad. La reutilización del plástico de película es mucho mas difícil ya que se encuentra bastante sucio, lo que dificulta su comercialización.

- Hueso. Proviene de desperdicios de carnicerías y de desechos domésticos. Este material puede ser utilizado por las industrias de alimentos para animales.

En todos los casos el proceso de reciclaje constará de las fases siguientes:

Fase de alimentación constará de tolvas de almacenamiento del producto a tratar y un sistema de alimentación a la fase siguiente.

Fase de preparación mecánica consistirá, en trituración y clasificación automática en cribas.

Fase de operaciones básicas de reciclado, estas serán separaciones neumáticas, magnéticas, electrostáticas y mecánicas, que en todos los casos producirán un concentrado del material que interesa y un mixto o un estéril. Estas fracciones pueden considerarse como productos acabados o como productos de etapas intermedias.

Fase preparación y almacenamiento de los productos reciclados, se dispondrá de los sistemas adecuados para la preparación y almacenamiento de los productos reciclados con miras al transporte o transformación de los mismos así como de sistemas adecuados para la eliminación de rechazos.

5.2.4 Incineración.

Se define como el proceso de convertir a través de una combustión controlada, desechos combustibles en productos gaseosos y en residuos que contengan principalmente material no combustible.

Para el estudio de incineradores se debe considerar en primer término la determinación de la composición y peso (reales o hipotéticos) de los desechos urbanos, de la naturaleza de estos depende la cantidad de aire necesario para la combustión, el calor generado, el volumen de humos producidos y en definitiva las dimensiones de los componentes de la instalación. Dadas las grandes variaciones que experimentan los desechos sólidos y la forma de conseguir los datos suficientes para el diseño de las instalaciones se debe seleccionar un número de constituyentes de los desechos más normales, efectuando los análisis necesarios y determinando su poder calorífico (P.C.). Se ha constatado que desechos con un P.C. semejantes tienen análisis elemental similares, lo que ha dado lugar a un gran simplificación del problema que queda reducido únicamente a estimar el P.C. para el diseño de la instalación.

Se pueden considerar los desechos como un producto constituido por materias no combustibles (minerales y metales diversos), materiales combustibles y el agua contenida que no solamente no aporta calorías, sino que las absorbe para su vaporización. Los vegetales constituyen la fuente mayor de materias combustibles y las materias combustibles secas de productos tales como papel, madera, textiles naturales, etc., están en su mayor parte compuestas de celulosa, la cual tiene un poder calorífico de aproximadamente 4200 kcal/kg. Las proteínas el almidón, etc., están asociados a la celulosa y reducen ligeramente su P.C. pero pueden ser incineradas.

La fuente de calorías que siguen en importancia comprende los hidrocarburos, grasas, aceites, resinas, materias plásticas y textiles sintéticos tiene un P.C. elevado que pueden alcanzar los 10,000 kcal/kg.

Parte Combustible = Celulosa + Materias de alto Poder Calorífico.

La combustión se define como el proceso de reacción de los desechos con el oxígeno del aire que es acompañado generalmente con el desprendimiento de energía en forma de luz y/o calor.

En un incinerador se presentan dos fases superpuestas de combustión; una primaria donde generalmente los cambios físico-químicos ocurren y consisten en el secado, volatilización e ignición de los desechos y una combustión

secundaria donde se presenta la oxidación de los gases y la materia particulada semiquemada liberada en la primera combustión.

En resumen para obtener un buena combustión de los desechos sólidos son necesarias las condiciones siguientes:

- Una cantidad de calor suficiente para iniciar y sostener la combustión.
- Un movimiento activo para deshacer los paquetes compactos de los desechos y homogeneizar el combustible.
- Un caudal de aire suficiente para el desarrollo de la combustión y para enfriar las escorias.
- Un tiempo de estancia suficiente para la combustión completa que se obtiene reteniendo los residuos o modificando la velocidad de avance de los mismos.

La incineración también puede ser considerada como un proceso de tratamiento, dadas sus características y la producción de escorias.

6. Disposición Final.

6.1 Definición.

La disposición final de los desechos sólidos constituye la última fase del ciclo siendo esta indispensable, ya que aún cuando se lleven a cabo procesos de tratamiento. Siempre existe un porcentaje de desperdicios que requiere de su eliminación, para evitar efectos nocivos a la salud y/o al medio ambiente.

6.2 Clasificación.

Actualmente se utilizan para la disposición final de los desechos sólidos, los siguientes métodos:

- Relleno Sanitario.
- Almacenamiento a cielo abierto.
- Disposición en el mar.

6.2.1 Relleno Sanitario.

Es un método de ingeniería para disponer adecuadamente de los desechos sólidos en el suelo, esparciéndolos en capas delgadas, compactándolas con una capa de tierra al término de las operaciones diarias o a intervalos más frecuentes, según las necesidades.

Los factores que intervienen en el procedimiento son:

Principios del método.

- Los residuos se extienden en capas sucesivas de espesor moderado (aproximadamente dos metros como máximo). Toda nueva capa no se deposita hasta que la temperatura de la capa precedente, resultante de la fermentación, haya descendido a la temperatura natural del suelo.
- Las capas se nivelan con precisión y se limitan por taludes regulares y poco inclinados, para que los desechos no sean arrastrados por las lluvias.
- El depósito debe ser suficientemente compacto, para evitar los vacíos importantes que favorecen los riesgos de incendio, sin ser excesivos, a fin de permitir el paso del aire necesario para la fermentación aerobia.
- Una vez realizado el depósito, los taludes y las capas regulares de desechos éstas deben ser recubiertas en un plazo no mayor de 48 h. tratando de finalizar el mismo día. Esta capa deberá ser de tierra o material apropiado la cual debe tener un espesor de 10 a 30 cm según la cohesión de los materiales y el cuidado aportado en su colocación.

En la etapa del diseño de un relleno sanitario después de tener los datos preliminares del sitio elegido y las características de la zona, se puede optar por los dos métodos de diseño existentes: el de trinchera y el de Área o utilizar una combinación de ambos. El método será seleccionado dependiendo de las características del suelo del sitio elegido, de la cantidad y características de los desechos a ser dispuestos.

- Método de Trinchera. Es utilizado normalmente en los lugares donde el nivel de aguas freáticas no es tan alto, las pendientes del suelo son pequeñas y las características del suelo pueden ser excavadas utilizando equipos normales de movimiento de tierra.
- Método de Área. Se utiliza en cualquier área de terreno disponible, de tal modo que se puede llevar a cabo en canchales abandonadas, cañadas y depresiones. Un punto importante que se debe tomar en cuenta, es la distancia de transporte del material de cubierta, que no debe ser muy grande de tal manera que la operación sea económica.
- Método Combinado. En algunos casos especiales cuando las condiciones geohidrológicas del sitio elegido para llevar a cabo el relleno sanitario son propicias, se puede llevar a cabo el relleno usando una combinación de los dos métodos antes descritos.

Uno es el de iniciar con el método de trinchera y posteriormente cuando el área ha sido nivelada continuar con el método de área. El otro método es conocido como de rampa y consiste en iniciar con el método de área y excavar el material de cubierta donde termina la celda ya construida.

Usando este método se ahorra el transporte del material de cubierta y una parte de los desechos son depositados debajo de la superficie original, lo cual aumenta la vida útil del sitio.

6.2.2 Disposición a Cielo Abierto.

Este es el sistema de disposición de desechos más generalizado en México y consiste en localizar un sitio cercano a las poblaciones para verter en él los desperdicios hasta llegar a una acumulación tal que se imponga la localización de un nuevo predio.

Las administraciones municipales recurren a este método por ser el más sencillo en cuanto no requiere ninguna planeación y también por que con ello buscan una serie de economías que, al final, resultan estas políticas a ser contraproducentes ambientalmente.

Este procedimiento causa muchos problemas:

- Presenta un pésimo aspecto en el medio ambiente.
- Los vehículos de recolección se ven obligados a transitar sobre los desechos, ocasionando el desgaste acelerado de dichos vehículos.
- Los terrenos ocupados quedan temporalmente invalidados y los lotes aledaños sufren demérito en su valor comercial.
- Causa problemas por olores desagradables, polvos y humos, incubación de insectos y roedores.
- Ocasiona la contaminación de aguas freáticas.
- Existe la posibilidad de incendios espontáneos.

6.2.3 Disposición en el Mar.

Una alternativa de disposición final de los desechos se encuentra en el mar. Este método es utilizado en las zonas costeras, ofrece una rápida solución pero inadecuada, a la necesidad de disposición final.

Los desechos sólidos que se dispongan en el mar deberán ser seleccionados de manera apropiada, tratando de evitar la contaminación marítima.

Una metodología apropiada para la disposición en el mar debe seguir los siguientes criterios:

- Lugar disponible en el puerto, en el cual se puedan manejar eficientemente un número grande de camiones, que posean servicio de muelles para el embarque de los desechos sólidos y un sitio de almacenamiento en el cual se pueda prensar, moler o triturar los desechos.
- El material compactado que se deposita en el mar se restringe a material inerte y que presenten una densidad mayor que la del agua marina, y siempre utilizando medidas apropiadas para proteger el ambiente marino.

CAPÍTULO II EL PROBLEMA DE LOS DESECHOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO.

La forma y modalidades del desarrollo económico y social determinan la manera en que se dan los procesos de producción y consumo de la sociedad. En realidad, el tipo de productos que se elaboran, los materiales y técnicas que se emplean, los patrones de consumo, etc., son resultado del modelo adoptado.

El desarrollo de un país tiene sus raíces en su historia, tradición y cultura pero está determinado también por la disponibilidad de sus recursos y su relación con otras naciones. En este sentido, el medio ambiente y los recursos naturales susceptibles de ser utilizados, son un factor importante en la determinación de las potencialidades del desarrollo económico. Así, cualquier intento de explicación o solución de una problemática específica tiene que ser vista en referencia a ese contexto que cada país tiene en un momento dado.

La problemática ambiental requiere por tanto este marco de referencia para su análisis. Se parte del hecho que sociedades más avanzadas tienen sistema de producción, distribución y consumo más complejos y distintos a otros países en vías de desarrollo. Si esto es válido para estas etapas del ciclo económico, es decir, la producción, distribución y consumo lo debe ser también para aquella parte no reconocida que es la generación de los desechos. El volumen y composición de los desechos tienen que ver con el grado de desarrollo de un país o región.

Los productos elaborados pueden tener características peculiares que desde su origen los hagan factibles de reutilizar o se determinen como desechos irreversibles.

El nivel de ingreso de la población y su propensión a consumir es otro elemento determinante, en tanto que el consumo genera alguna clase de desecho. A mayores ingresos e índices de consumo corresponderán mayores cantidades de desechos.

Existe una correlación directa entre población y producción de desechos así como entre concentración y contaminación. En cuanto a las características cualitativas de los desechos a mayor desarrollo corresponderán productos y por tanto desechos más elaborados. El desecho producido por una sociedad primitiva puede ser más fácilmente asimilable por el ecosistema que el desecho generado por una sociedad compleja e industrializada. Los ejemplos más claros son los productos petroquímicos no biodegradables y los radioactivos que son producidos por muchos países, que no poseen la tecnología para su tratamiento, siendo depositados en el agua, suelo o atmósfera.

Situación Actual.

Como se mencionó anteriormente existe una estrecha relación entre el grado de desarrollo económico, la concentración demográfica y la generación de desechos sólidos.

En cualquier tipo de asentamiento se generan desechos sólidos, el impacto de éstos es más relevante en aquellas localidades que presentan altas concentraciones de población y actividades económicas.

El análisis de la problemática comprende, la generación, manejo, tratamiento y disposición de desechos. Se seleccionó la Ciudad de México debido a que posee la mayor concentración demográfica del país y genera grandes problemas ecológicos. Además, de ser nuestra ciudad.

A continuación se describen las características que presenta el problema de desechos sólidos en sus distintas fases:

1. Generación.

La magnitud de los problemas que se generan por la existencia de los desechos resulta evidente; pero se puede argumentar que el problema no es nuevo. Ciertamente el hombre ha producido siempre ciertos residuos, pero en las últimas décadas la producción de desechos sólidos ha llegado en verdad a plantear serios problemas.

Uno de los factores que ha contribuido al problema es el crecimiento de población. Este posee dos importantes aspectos, el alto índice de natalidad y la migración hacia la ciudad de México, dado que esta es el centro económico más importante del país.

Para facilitar el diagnóstico, se tomó como universo la ciudad de México, el cual se analizará por delegaciones políticas.

Tabla 2.1
POBLACION DE LA CIUDAD DE MEXICO POR DELEGACION.

DELEGACION	POBLACION (HAB.)
Alvaro Obregón	796,413
Atzacapotzalco	749,457
Benito Juárez	678,884
Coyoacán	743,981
Cuajimalpa	113,629
Cuahtémoc	1,015,410
Gustavo A. Madero	1,885,540
Iztacalco	710,650
Iztapalapa	1,572,803
Magdalena Contreras	215,677
Miguel Hidalgo	676,616
Milpa Alta	66,803
Tláhuac	183,057
Tlalpan	459,717
Venustiano Carranza	863,300
Xochimilco	270,967
T O T A L	11,002,904

Fuente: D.D.F. Dirección Técnica de Desechos Sólidos. México, 1984.

El desarrollo económico y social que ha acelerado el país desde 1950, ha implicado un aumento constante del volumen de basura generado por habitante.

Para 1950 se registraba un índice de 250 g/hab/día de basura, mientras que para 1980, éste ascendió a un promedio de 690 g/hab/día y se ha pronosticado que para el año 2000 llegue a 1,200 g/hab/día.

En cuanto al volumen total generado, se observa que este se ha incrementado en el periodo de 1950 a 1980 en un 653%. Por lo que para 1980 se obtuvo una producción total nacional de 48,556 ton/día. En este año, el 85% aproximadamente es generado en otras zonas urbanas y el 13.39% en el Distrito Federal (6,500 ton/día).

Tabla 2.2
GENERACION DE BASURA EN MEXICO 1950-2000

AÑO	POBLACION (miles)	DESECHOS SOLIDOS	
		VOLUMEN (ton/día)	GENERACION PERCAPITA (grs./hab./día)
1950	25,791.0	6,447.75	250
1960	34,923.1	12,223.08	350
1970	50,694.0	22,812.30	450
1980	69,902.0	48,556.00	690
2000	104,438.0	103,301.00	989

• Fuente: Proyecto Nacional de Desechos Sólidos.
Coordinación de Proyectos de Desarrollo.

Tabla 2.3
BASURA GENERADA EN LA CIUDAD DE MEXICO POR DELEGACION

DELEGACION	POBLACION	VOLUMEN TOT (tph/día)	PORCENTAJE %
Alvaro Obregón	796,413	628.5	5.8
Atzacapotzalco	749,457	591.5	5.6
B. Juárez	678,884	711.5	6.6
Coyoacán	743,981	740.0	6.9
Cuajimalpa	113,629	112.8	1.0
Cuauhtémoc	1,015,410	1,552.3	14.6
Gustavo A. Madero	1,885,540	1,613.7	15.1
Iztacalco	710,650	561.0	5.3
Iztapalapa	1,572,803	1,387.2	12.9
M. Contreras	215,677	181.7	1.7
Miguel Hidalgo	676,616	845.9	7.9
Milpa Alta	66,803	60.1	0.7
Tláhuac	183,057	125.8	1.2
Tlalpan	459,717	304.1	2.8
V. Carranza	863,300	1,042.9	9.8
Xochimilco	270,967	216.1	2.1
T O T A L	11,002,904	10,675.1	100.00

• Fuentes: D.D.F. Dirección Técnica de Desechos Sólidos.
Proyección de población, Generación per-cápita y
global anual. Período 1984-1994, México, 1984.

En 1984 se generaron en promedio 10,675 ton/día de desechos sólidos, de los cuales el 62.04% son desechos domiciliarios el 37.96% corresponde a los desechos generados por hospitales, mercados y comercios, no incluye industriales, ni cadenas comerciales grandes ya que en estos casos no es responsabilidad del D.D.F. recolectarios.

En las 16 Delegaciones muestreadas se generan en promedio 970 g/hab/día. La delegación que genera mayor volumen per cápita es la Cuauhtémoc con un promedio de 1,528 g/hab/día. Sin embargo la que genera mayor volumen de desechos es la Gustavo A. Madero con 1,613.7 tcn./día, lo que representa el 15.1% del total, teniendo la mayor densidad de población (1,885,540 hab.).

2. Tipos de Fuentes y Composición.

En base a los resultados obtenidos, se observa que la generación de basura por tipo de fuentes en la ciudad de México se distribuye de la siguiente manera:

Tabla 2.4
FUENTES GENERADORAS DE BASURA EN LA CIUDAD DE MEXICO,
POR DELEGACION POLITICA

DELEGACION	DOMICILIARIA		MERCADOS		COMERCIOS		HOSPITALES	
	T/D	%	T/D	%	T/D	%	T/D	%
A. Obregón	500	79.5	22.5	3.6	82.2	13.1	23.8	3.8
Atzacapozalco	386	65.2	56.1	9.5	127.3	21.5	22.1	3.7
B. Juárez	448	62.9	56.3	7.9	162.2	22.8	45.0	6.3
Coyoacán	599	80.9	39.0	5.3	77.4	10.5	24.6	3.3
Cuajimalpa	93	82.4	5.1	4.5	13.0	11.5	1.7	1.5
Cuauhtémoc	625	40.3	223.5	14.4	612.0	39.4	91.8	5.9
G. A. Madero	1061	65.7	155.1	9.6	314.3	19.5	83.3	5.2
Iztacalco	390	69.5	44.0	7.8	103.2	18.4	23.8	4.2
Iztapalapa	906	65.3	277.9	20.1	161.7	11.6	41.6	3.0
M. Contreras	152	83.6	5.7	3.1	20.6	11.3	3.4	1.9
M. Hidalgo	513	60.6	97.9	11.6	193.4	22.9	41.6	4.9
Milpa Alta	36	59.9	7.8	13.0	12.0	19.9	4.3	7.1
Tláhuac	84	66.8	17.4	13.8	19.3	15.3	5.1	4.1
Tlalpan	246	80.9	18.2	5.9	26.3	8.7	13.6	4.5
V. Carranza	433	41.5	208.7	20.0	357.8	34.3	43.4	4.1
Xochimilco	151	69.9	13.3	6.2	43.3	20.6	8.5	3.9
T O T A L	6623		1248.5		2326.0		477.6	
M E D I A		62.0		11.7		21.8		4.5

Fuente: D.D.F. Dirección Técnica de Desechos Sólidos. 1984.

Al analizar los datos contenidos en la tabla anterior, se encuentra que la mayor proporción de basura es generada por las unidades familiares, ya que éstas participan con el 62.04% del total. Observándose que la delegación G. A. Madero registra el mayor porcentaje (16.01%), mientras que la delegación Milpa Alta genera sólo el 0.54%.

En cuanto al sector hospitalario, en términos generales este es el que tiene una menor participación (4.47%), siendo la delegación Cuauhtémoc la que genera el mayor volumen de desechos hospitalarios 91.8 ton/día, representando el 19.22% del total de los desechos hospitalarios.

En el sector comercial, se observa que en la delegación Cuauhtémoc se generan 612 ton/día, representando el 26.31% del total generado, este sector genera, en promedio un 21.8% del total de desechos.

En cuanto al de mercados, su contribución a la problemática de generación de residuos sólidos representa el 11.7% del total, la delegación que contribuye con el más alto porcentaje es la Cuauhtémoc con un porcentaje del 18.7%.

Por otra parte en lo que se refiere a la composición de los desechos generados en la Ciudad de México se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 2.5
COMPOSICION DE BASURA EN LA CD. DE MEXICO

Subproducto	Ton/día	%
Algodón	24.55	0.23
Cartón	350.11	3.28
Cuero	69.30	0.65
Residuo fino	100.34	0.94
Cartón encerado	151.58	1.42
Fibra vegetal	524.14	4.91
Fibra sintética	50.17	0.47
Hueso	87.53	0.82
Hule	22.41	0.21
Lata	169.73	1.59
Loza y cerámica	79.00	0.74
Madera	61.91	0.58
M. de construcción	82.19	0.77
Mat. ferroso	54.44	0.51
Mat. no ferroso	22.41	0.21
Papel	1,326.91	12.43
Pañal desechable	320.25	3.00
Plástico	538.02	5.04
Poliuretano	153.72	1.44
Poliestireno	34.16	0.32
Desecho alimenticio	4,711.98	44.14
Residuos jardinería	423.80	3.97
Trapo	252.99	2.37
Vidrio de color	266.87	2.50
Vidrio transparente	461.16	4.32
Otros	252.99	2.37
TOTAL	10,675.10	100.00

Fuente: D.D.F. Dirección Técnica de Desechos Sólidos. 1984.

Al analizar la tabla anterior se observa que el 44.14% de los desechos está compuesto por residuos alimenticios, observándose que la delegación Venustiano Carranza presenta el mayor porcentaje 59.48% con respecto al total generado en dicha delegación.

El papel representa el 12.43% de los desechos, siendo este el segundo lugar del total generado. La delegación Atzacotalco es la que recolecta mayor porcentaje de papel respecto de su total.

3. Sistemas de Recolección.

Se puede decir que existe una estrecha relación entre el grado de complejidad del sistema de recolección con que cuenta una localidad y el tamaño de su población.

Este servicio es ofrecido por el gobierno, desafortunadamente no trabaja con la eficiencia requerida, debido a cuenta con equipos obsoletos y de poca capacidad para satisfacer las necesidades que nuestra ciudad demanda.

En la ciudad de México existe un sistema de recolección complejo y diversificado, que combina distintas formas de recolección y barrido (manuales y/o mecánicos) implicando altos costos de inversión, operación y grandes dificultades para el control de la eficiencia del servicio.

Hasta este momento, el sistema no se encuentra debidamente organizado por lo que genera serios problemas, que a continuación enumeraremos:

- El sistema presenta una baja eficiencia ya que trabaja al 65% de su capacidad.
- Ausencia de rutas establecidas para la recolección.
- Falta de unidades recolectoras.
- Costo elevado del sistema.
- Falta de mantenimiento correctivo y preventivo de las unidades.
- Bajo aprovechamiento de la capacidad real de los vehículos recolectores.
- Falta de capacitación de los operadores, que trae como consecuencia la pepena anticipada y falta de higiene.
- Poco control en la frecuencia de recolección.

Tabla 2.6
RECOLECCION DE DESECHOS SOLIDOS POR DELEGACION

DELEGACION	TON/DIA	ESTIM. DE POB. ATENDIDA
Alvaro Obregón	362	576,433 hab.
Atzacapotzalco	347	675,097
Benito Juárez	360	545,455
Coyoacán	334	414,907
Cuajimalpa	56	64,368
Cuauhtémoc	580	943,089
Gustavo A. Madero	760	1,349,911
Iztacalco	300	546,448
Iztapalapa	610	1,059,028
M. Contreras	115	163,121
Miguel Hidalgo	410	540,897
Milpa Alta	29	54,511
Iláhuac	70	152,838
Tlalpan	215	401,869
V. Carranza	360	718,563
Xochimilco	120	215,054
TOTAL	5,057	8,236,156

.Fuente: D.D.F. Dirección Técnica de Desechos Sólidos. 1984.

Como se observa en la tabla anterior, el volumen total recolectado es 5,057 ton/día que representa el 47.37% del total generado (10,675 ton/día), encontrándose que en la delegación Venustiano Carranza únicamente se recolecta el 34.51% de su volumen generado estimado. Y la que presenta el mayor porcentaje de recolección es la delegación Tlalpan con el 70.7% de su generación total estimada.

Las diferencias observadas en la tabla anterior, podrían estar definidas por la propia eficiencia de los sistemas de recolección utilizados en cada una de las delegaciones mencionadas, además de la relación entre el equipo y el personal necesario, así como el diseño de las rutas y frecuencias, características físicas y demográficas de dichas delegaciones.

Es así, que la ciudad de México presenta los índices más altos de habitantes/camión, barredoras y empleados. Sin embargo dada la magnitud de su extensión, población y generación de basura, el sistema de recolección es insuficiente, implicando serios problemas para las autoridades locales en cuanto a inversión, administración y operación del servicio.

El Departamento del Distrito Federal ha elaborado algunos proyectos para este sistema; entre los cuales se pueden mencionar:

- Reglamento para el servicio de limpia del Distrito Federal, en el cual se estipulan las obligaciones tanto de los trabajadores como de los usuarios.
- Estudio sobre pesajes de vehículos recolectores y muestreos sobre los desechos domiciliarios de las dieciséis Delegaciones políticas.
- Estudio sobre la capacidad y aprovechamiento del equipo.
- Plan piloto para la recolección nocturna por medio de contenedores, sobre todo, en algunas áreas de difícil acceso.

También el D.D.F. cuenta con trece estaciones de transferencia distribuidas en la siguiente forma:

Tabla 2.7
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA

DELEGACION	CAPACIDAD ton/día	SUPERFICIE m ²	TOLVAS No.	RANURAS No.
A. Obregón	400	5,700	-	2
Atzacapotzalco	600	4,432	4	-
B. Juárez	750	9,596	5	-
Coyacacán	527	4,710	2	1
Cuauhtémoc	750	7,309	3	-
G. A. Madero	300	897	2	-
Iztacalco	750	9,222	5	-
Iztapalapa	704	9,239	2	2
M. Hidalgo	750	6,214	5	-
Milpa Alta	150	s/d	1	-
V. Carranza	750	3,924	5	-
Xochimilco	352	9,382	2	1
Zona Norte	1200	11,000	-	6

Fuente: D.D.F. Dirección Técnica de Desechos Sólidos. 1986

Es necesario mencionar que la capacidad anteriormente descrita se refiere a la capacidad de diseño. Estas estaciones de transferencia fueron creadas para facilitar el traslado, reducir el tiempo excesivo de transporte y disminuir el desgaste de los vehículos recolectores.

4. Tratamiento.

En relación a los procesos de tratamiento, la ciudad de México, cuenta con una planta industrializadora de desechos sólidos (composta) y dos plantas incineradoras, (que no se encuentran funcionando actualmente). Estas plantas son administradas por la Delegación correspondiente al área donde se encuentran ubicadas.

La planta de composta esta ubicada en San Juan de Aragón dentro del perímetro de la delegación Gustavo A. Madero.

Cuenta con tres molinos con una capacidad de molienda gruesa de 37.5 ton/h. siendo la capacidad por molino de 12.5 ton/h. con potencia de 150 CF. El equipo se ha programado para procesar los desechos en dos y medio turnos, empleando el medio turno para el mantenimiento preventivo de equipo y componentes.

En junio de 1986 se realizó un muestreo de desechos domiciliarios generados por la delegación Gustavo A. Madero obteniendo los siguientes valores:

- Materia orgánica	48.62%.
- Productos recuperables	49.87%.
- Residuos sin utilidad	1.50%.

El promedio porcentual de componentes que deben ser extraídos y clasificados en la banda de selección es el 51.37%.

La siguiente tabla señala las características cuantitativas en cuanto a la capacidad que presenta la planta de tratamiento actualmente en operación.

Tabla 2.B
TRATAMIENTO EN LA CIUDAD DE MEXICO

PLANTA	CAPACIDAD TOT. ton/día	TRATAMIENTO ACT. ton/día
P. de Composteo	750	250

.Fuente: Coordinación de Proyectos de Desarrollo. 1986

De lo anterior se desprende que si bien existen alternativas tecnológicas para el tratamiento de desechos sólidos, la capacidad de éstas para tratar el volumen total generado es mínimo. Por ejemplo la delegación Gustavo A. Madero genera 1,061 ton/día de desechos domiciliarios y suponiendo que la planta opere a su máxima capacidad (750 ton/día) únicamente

se trataría el 70.68%. Por lo que cabe subrayar, que una sola planta es insuficiente para cubrir las necesidades de una sola delegación, demostrando así que el tratamiento es necesario para la recuperación de desechos pero no suficiente para la eliminación de ellos.

En cuanto a las tecnologías que se utilizan en el tratamiento de desechos, se puede decir que en la mayoría de los casos se recurre a tecnología extranjera de países como Suiza, Francia y España.

Es importante mencionar que esta planta se desarrolló con la idea de que fuera autofinanciable, pero se presentan serios problemas en la administración y comercialización del producto final "composta", por lo que la venta de este producto no alcanza a sufragar los gastos totales que se requieren en el proceso integral de su producción. No obstante, se puede decir, que las fases de recolección, traslado y disposición final no deberían cuantificarse como costos en la producción de la composta, ya que estos son requeridos aun sin el tratamiento de los desechos y representan el 90% del costo total por tonelada de procesamiento integral.

El reciclaje de materiales recuperados de los desechos sólidos y el procesamiento de composta, tienen mucho que ver con el tipo de basura que se trata. Una basura es muy rica, cuando está compuesta en gran proporción por material recuperable (papel, cartón, vidrio y fierro); y por el contrario, ésta es pobre cuando la materia orgánica (vegetales y alimentos) representa el mayor porcentaje. Estos dos componentes son productos que generan recursos para una comunidad y se pueden recuperar.

5. Disposición Final.

La disposición final de los desechos sólidos constituye la última fase del ciclo, siendo ésta indispensable, ya que aun cuando se lleven a cabo procesos de tratamiento, siempre existe un porcentaje de desperdicio que requiere su eliminación.

De las 16 delegaciones analizadas, se observa que del volumen total recolectado (5,057 ton.), una mínima parte se acumula a cielo abierto diariamente, aunque el material recolectado (5,618 ton/día), o sea, el 52.6% es abandonado en lotes baldíos, avenidas, alimento a fauna nociva, etc.

Actualmente el D.D.F. tiene tres sitios de disposición final operando, los cuales tienen las siguientes características:

Tabla 2.9
SITIOS DE DISPOSICION FINAL

BORDO PONIENTE 1a. ETAPA	SANTA CATARINA	PRADOS DE LA MONTAÑA
Fecha de inicio Feb. 1985	Fecha de inicio Nov. 1982	Fecha de inicio Nov. 1986
Superficie 75 ha.	Superficie 30.2 ha.	Superficie 22.5 ha.
Recepción 2,076 ton/día	Recepción 1,683 ton/día	Recepción 1,500 ton/día
Vida Útil 3 años	Vida Útil 5 años	Vida Útil 5 años
Delegaciones Depositorias	Delegaciones Depositorias	Delegaciones Depositorias
Xochimilco	Coyoacán	A. Obregón
Iztacalco	Iztapalapa	Atzacapotzalco
G. A. Madero	Atzacapotzalco	B. Juárez
V. Carranza	B. Juárez	Cuajimalpa
Atzacapotzalco	Cuauhtémoc	Cuauhtémoc
C. de Abasto	Tláhuac	M. Contreras
	Tlalpan	M. Hidalgo
	Iztacalco	
	Edo. de Mex.	
	Particular	

.Fuente: D.D.F. Dirección Técnica de Desechos Sólidos, 1986.

Es importante señalar que existe una gran cantidad de basura que se requiere eliminar en sitios de disposición final, lo que podría reducirse de manera significativa al utilizarse algún tipo de tratamiento. El análisis demuestra que por cada tonelada de basura, el 75% de su volumen es recuperable reduciéndose así el desperdicio final al 25%, lo cual aunado al beneficio que implica la recuperación de los materiales permitiría aumentar la capacidad de recepción en los sitios de disposición final y con esto el aumento de su vida útil.

La localización de los sitios de disposición está determinada, en general, por la disponibilidad de terrenos cercanos a la localidad y no por un dictamen técnico que defina las mejores condiciones físico naturales para su ubicación.

Los efectos que tiene la inadecuada ubicación y operación de un tiradero podrían ser irreversibles, ya sea por la

filtración de contaminantes a los mantos acuíferos o por la contaminación del aire y suelo. Es posible también que co propicie la propagación de enfermedades debido a la acumulación de desechos de hospitales sin ningún tipo de tratamiento y la proliferación de la fauna nociva.

Por lo anterior el D.D.F. tiene en estudio tres sitios más de disposición final, "La Caldera" con un volumen útil de 31 millones de metros cúbicos y una vida útil de 32 años, "Tlapizahuaya" con un volumen útil de 25.40 millones de metros cúbicos y una vida útil de 20 años, "Cantera Cero" con un volumen útil de 3.77 millones de metros cúbicos y una vida útil de 8 años.

CAPITULO III DESCRIPCION DE LAS TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE LOS DESECHOS SOLIDOS.

En este capitulo se pretende plantear, identificar y describir las tecnologías existentes para el manejo de los desechos sólidos.

Primero se describen las tecnologías disponibles para aquellas dos etapas del proceso de manejo de los desechos que se consideran como más viables para la ciudad, es decir por una parte el reciclaje, el composteo y la incineración para el tratamiento de los desechos sólidos, y por otra, el relleno sanitario para la disposición final de los mismos.

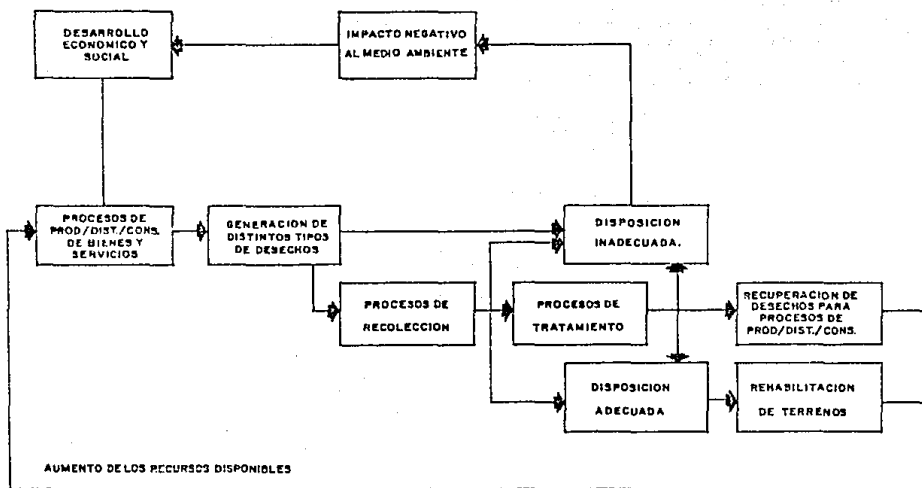
Descripción de los Procesos de Tratamiento y Disposición Final de los Desechos.

A continuación se describe las cuatro principales tecnologías para el tratamiento y la disposición final de los desechos.

Las dos primeras, reciclaje y composteo son tecnologías que dan tratamiento a la basura no tanto con el objetivo de resolver el problema del desecho de la sociedad sino con el objeto de recuperar sus recursos intrínsecos y aprovecharlos. En tal sentido estas tecnologías contribuyen entre un 20 y 50 % (*), a solucionar el impacto ambiental de la basura, y contribuyen en más a alcanzar diversos objetivos socioeconómicos.

Las dos últimas, la incineración que su objetivo es la reducción de volumen y el relleno sanitario de disposición final a la basura como su objetivo central, y los beneficios socioeconómicos (recuperación de energéticos o tierra) son menores a los que aporta ecológicamente.

(*) Proyecto Nacional de Desechos Sólidos. Lineamientos. 1981.



PARA LA PRODUCCION, DISTRIBUCION Y CONSUMO.

FIG. 3.1
ESQUEMA DE ANALISIS PARA EL MANEJO DE DESECHOS SOLIDOS.

1. Reciclaje.

La recuperación es volver aprovechar materiales que ya fueron utilizados, por medio del reciclaje como materia prima. En otras palabras transformar la basura en materia prima.

Definimos el reciclado como un método de tratamiento de residuos sólidos que permite obtener fracciones compuestas por agrupaciones de sus componentes, sin estar éstos sometidos a alteraciones químicas. Estas fracciones debidamente acondicionadas o transformadas, serán productos viables de ser reutilizados.

El reciclaje frecuentemente se combina con tres tecnologías: con el composteo para separar la materia no composteable, con la incineración para separar la materia no oxidable y con el relleno sanitario para reducir un poco la basura que se pretende enterrar. Se distinguen dos formas fundamentales en el tratamiento de los residuos sólidos por reciclado: reciclado de los residuos en bruto (composteo y relleno sanitario), reciclado de los residuos incinerados.

1.1 Reciclaje de los residuos sólidos en bruto.

Las operaciones de reciclado tratarán en este caso residuos sólidos en bruto y recientemente recogidos para que no este avanzado el proceso de fermentación.

Las fracciones con posibilidad de ser obtenidas y con viabilidad de ser comercializadas son las siguientes:

- Fracción ligera.

Composición:

- Fibras celulósicas (papel, cartón)
- Plásticos
- Fibras textiles

Utilización:

- Fabricación de pasta de papel
- Reutilización de plástico
- Preparación de una fracción combustible de alto poder calorífico

- Fracción magnética.

Composición:

- En bases de chapa estañada
- Chapa magnética
- Hierro y otros metales.

Utilización:

- Recuperación del estaño
- Chatarra para fundición

- Fracción vidrio.

Composición:

- Vidrio triturado

Utilización:

- Fabricación de vidrio
- Fabricación de fibra de vidrio
- Fabricación de materiales de construcción

- Fracción orgánica

Composición:

- Materia orgánica

Utilización:

- Fabricación de composta
- Fabricación de alimento para ganado
- Transformación química en combustibles líquidos y gaseosos

- Fracción metálica

Composición:

- Metales y aleaciones metálicas no magnéticas

Utilización:

- Industria metalúrgica

- Fracción mixta

Composición:

- Materiales combustibles e inertes varios

Utilización:

- Combustible de bajo poder calorífico
- Transformación química en combustibles líquidos y gaseosos

1.2 Reciclaje de residuos sólidos incinerados.

Las operaciones de reciclado tratarán en este caso las escoria procedentes de los hornos de incineración de residuos sólidos.

Es posible la obtención de las fracciones siguientes:

- Fracción magnética.

Composición:

- Chapa magnética y hierro masivo.

Utilización:

- Industria metalúrgica.
- Fracción metales ligeros.

Composición:

- Principalmente aluminio y otros metales ligeros.

Utilización:

- Industria metalúrgica.
- Fracción metales pesados.

Composición:

- Plomo, cobre, zinc y otros.

Utilización:

- Industria metalúrgica.
- Fracción de silicatos.

Composición:

- Vidrio y cerámica.

Utilización:

- Materiales de construcción.

Las variaciones principales son:

- La recuperación ; es decir la simple separación de la materia reciclable, ya sea a través de la piqueta, manualmente sobre bandas mecanizadas o automatizadamente (con magnetos, centrifugados, cribados, etc.), para su comercialización a precios bajos pues el adquirente debe

transformarlo para aprovecharlo subsecuentemente.

- El procesamiento en la actualidad no puede aún hablarse de un proceso específico de reciclado por ser una técnica en vías de experimentación o en comienzos de aplicación industrial.

De forma general se puede hablar de dos formas de reciclaje:

- Proceso de reciclado total, cuando afecta todos los componentes de los residuos sólidos.
- Proceso de reciclado parcial, cuando afecta una parte de los componentes de los residuos.

En todos los casos el proceso de reciclado constará de las fases siguientes:

- Fase de alimentación, constará de tolvas de almacenamiento del producto a tratar y un proceso de alimentación a la fase siguiente.
- Fase de preparación mecánica, consistirá en trituración y/o clasificación.
- Fase de operaciones básicas de reciclado, las operaciones básicas serán separaciones manuales, neumáticas, magnéticas, electrostáticas y mecánicas, que en todos los casos producirán un concentrado del material que interesa y un mixto o un estéril. Estas fracciones pueden considerarse como productos acabados o como productos de etapas intermedias.
- Fase de preparación y almacenamiento de los productos reciclados, se dispondrá de los sistemas adecuados para la preparación y almacenamiento de los productos reciclados con miras al transporte o transformación "in situ" de los mismos, así como de sistemas adecuados para la eliminación de rechazos.

Se obtiene principalmente plástico peletizado, pulpa de papel, hojalata quemada y prensada, vidrio lavado y granulado y otros. El valor que con ello se agrega puede aumentar hasta un 100% (principalmente en el vidrio y en el papel), y por su calidad puede competir favorablemente en el mercado de insumos similares.

2. Composteo.

El composteo es un tecnología que persigue biodegradar la fracción orgánica de la basura para obtener composta que sirve como mejorador orgánico de suelo para cultivo.

Las basuras domésticas contienen toda clase de productos fermentables, algunos de ellos como los desperdicios de

vegetales fermentan rápidamente; otros a base de celulosa (papel, carbón, madera) fermentan lentamente, pero son grandes generadores de humus.

Como las basuras domésticas son fundamentalmente heterogéneas, hay que recurrir a una preparación mecánica para: eliminar ciertos productos indeseables, homogeneizar la masa de residuos a tratar, disminuir el tamaño de las partículas para facilitar la fermentación.

En el tratamiento de las basuras domésticas la fermentación que se utiliza es aerobia, que es más rápida y evita los malos olores.

Las basuras domésticas están compuestas en partes casi iguales por tres elementos: materias fermentables, materias inertes y agua.

Desde el punto de vista del proceso pueden distinguirse dos grandes categorías: fermentación natural y fermentación acelerada.

2.1 Tratamiento mecánico.

Se estudiará la maquinaria que se utiliza para pesar, transportar, clasificar, triturar y cribar los desechos domésticos antes o después de su fermentación. Estas operaciones son indispensables para transformar una masa heterogénea en un producto homogéneo finamente granulado, apto para fermentarse correctamente y que después ofrezca un aspecto atractivo para el usuario.

2.1.1 Recepción y almacenamiento de los desechos.

A.- Recepción.

En los desechos existen normalmente, materiales que debido a sus características no pueden ser procesados por el equipo instalado de la planta y, por consiguiente, esos productos no deben pasar a los molinos. Es importante hacer del conocimiento del personal encargado de la clasificación de subproductos que los artículos que se relacionan a continuación deben ser separados: recipientes con sustancias inflamables (solventes orgánicos, gasolina, bencol, etc.) y objetos impregnados de ellas, recipientes cerrados, piedras, arena y escombros, llantas y compuestos ahulados y objetos explosivos.

B.- Balcas.

La mayoría de las instalaciones de tratamiento de desechos domésticos por fermentación controlada poseen una báscula para pesar los vehículos de recolección que acarrear los desechos a la instalación. La báscula sirve también para

pesar el producto final del tratamiento, la chatarra y diversos productos que salen de la instalación para venderse. La capacidad de la báscula debe de ser de 20 a 60 ton, ya que el producto se puede transportar en remolques de gran tonelaje.

La báscula se debe colocar a la entrada de la instalación, con el aparato de lectura en un edificio bien acondicionado. La báscula debe expedir comprobantes impresos indicando los pesos medidos, con lo que resultará más fácil prorratear los gastos de explotación entre las delegaciones que utilicen la instalación, de acuerdo con los tonelajes tratados. Si se pesa todo lo que sale de la instalación es posible controlar eficazmente la recuperación de subproductos.

C.- Fosas de recepción.

Están destinadas a recibir los desechos sin tratar. Cuando las descargan los vehículos de recolección, deben ofrecer fácil acceso a los vehículos (con una zona de maniobra ampliamente calculada) y deben tener en cuenta la frecuencia de paso de los camiones de recolección. En las pequeñas instalaciones son indispensables unos muros de protección que rebasen ampliamente los lados de la fosa. En las grandes instalaciones es conveniente prever un patio de descarga totalmente cerrado, con entrada y salida independientes.

El volumen de la fosa se tiene que calcular con exceso. Como base mínima, se puede tomar el volumen de los residuos recogidos en una jornada, aunque es preferible tomar como base la capacidad correspondiente a un día y medio o dos días para hacer frente a las interrupciones de la instalación. Hay que estudiar con cuidado la forma geométrica de la fosa para evitar los montones redondeados que forman con frecuencia los desechos y que son muy difíciles de destruir. Por eso, es preferible que las paredes de la fosa sean verticales o, en todo caso que una sola pared sea inclinada, con una pendiente de 60 a 70 grados.

Para extraer los desechos de la fosa se utilizan dos sistemas distintos: el de puente grúa en las grandes fosas y el extractor de correa de tabiques metálicos que se introduce hasta el fondo de la fosa cuando la capacidad es pequeña. El puente grúa permite grandes capacidades en la fosa de recepción y ayuda a vaciarla, si se produce una avería en el resto de la instalación, pero exige tener dedicado permanentemente un hombre para manejarlo, además hay prever de todas formas una tolva con extractor para vaciar la cuchara prensil y regularizar la circulación de los desechos en la instalación.

El extractor de correa de tabiques metálicos no permite

que la fosa tenga más de 150 metros cúbicos de capacidad. Su ventaja es que puede trabajar rápidamente sin vigilancia o efectuar una especie de trituración previa en los productos voluminosos, como cajas, jaulas, cartones grandes, etc. Esta fracturación se facilita con un escarificador colocado a la salida de la fosa, encima del extractor que desmenuza no solamente los productos que se acaban de mencionar sino también los grumos que se producen por el apilamiento.

D.- Aparatos transportadores.

Las instalaciones de fermentación de desechos siempre incluyen numerosos aparatos transportadores, especialmente bandas transportadoras. Sirven estas para acarrugar los desechos desde la fosa de recepción hasta finalizar el proceso pasando por los diferentes procesos, variando la distribución de estas bandas de acuerdo con cada procedimiento.

Teniendo en cuenta las propiedades abrasivas de las basuras domésticas, las bandas transportadoras deben fabricadas de alta calidad, fabricadas con tejido de butilneopreno, de alta densidad, reforzadas interiormente, con fibra de acero flexible.

Las bandas transportadoras deben ser, de preferencia cubiertas, para las basuras sin tratar las dimensiones de la cubierta deben ser grandes; para las basuras trituradas y el producto final de la fermentación, la altura libre por encima de la banda no debe ser nunca inferior a 0.20 metros. Los elementos constitutivos de la cubierta deben poderse desmontar con facilidad y rapidez.

La capacidad de las bandas transportadoras depende de la anchura de la banda, del tamaño de los residuos y de la velocidad. Por lo general, se admite un tamaño de residuos sobre la banda de 10 cm. para los triturados y de 40 cm. para las basuras sin tratar. La anchura de las bandas varía entre 0.50 m para los residuos triturados y 1.20 m (excepcionalmente 1.60 m) para las basuras sin tratar. La velocidad de las bandas es del orden de 1 m/s para las basuras sin tratar y 2 m/s para los residuos triturados.

E.- Eliminación del polvo.

Como las basuras domésticas contienen una proporción bastante grande de materias finas, se produce una emisión de polvo cada vez que se sacuden, mezclan o se vierten de un aparato a otro. Especialmente se produce mucho polvo cada vez que se vacía un camión recolector en el fosa de recepción y cada vez que pasan los residuos de un transportador a otro.

Es difícil eliminar el polvo en las fosas de recepción a

causa de su gran volumen. Por lo general, lo único que se hace es bajar la presión en la fosa para evitar que el polvo se propague fuera de la instalación.

2.1.2 Clasificación antes de la trituración.

La forma de la recolección y la misma naturaleza de los desechos domésticos que transportan los camiones recolectores obligan a cada instalación a considerar el tratamiento o separación de materiales muy diversos. La clasificación de estos materiales se puede realizar, de acuerdo con su naturaleza, manual o mecánicamente.

Esta clasificación tiene por objeto separar los materiales molestos o peligrosos que de ningún modo deberían pasar a las cadenas de tratamiento, o recuperar algunos materiales que tienen valor en el mercado y facilitar el tratamiento al mismo tiempo.

A.- Objetos a eliminar de las operaciones de tratamiento.

Objetos voluminosos. Algunos residuos ofrecen el peligro de no pasar por ciertos aparatos de la instalación originando obstrucciones. Sucede esto, por ejemplo con los colchones, muebles, cajones, neumáticos, árboles, etc.

Los camiones recolectores no deben transportar este tipo de objetos, pero de cualquier modo hay que prever para casos excepcionales un lugar donde recuperarlos, preferiblemente a la salida de la fosa de recepción.

B.- Objetos peligrosos.

Aunque es excepcional encontrar armas o municiones entre los desechos domésticos, no es raro recuperar entre ellas aerosoles o recipientes con sustancias inflamables. Estos objetos peligrosos se tienen que separar antes de iniciar el proceso.

C.- Objetos recuperables.

Algunos productos se pueden separar manual o mecánicamente y venderlos. Entre estos productos y de acuerdo con el mercado local se pueden citar los siguientes:

- Chatarra. Los residuos ferrosos en los desechos, están constituidos principalmente por latas vacías, representan de un 3 a un 5% del total de los mismos. Su recuperación varía de un 2 a un 4%. Se utilizan en las fundidoras de acero y en el proceso del cobre.
- Cartón. Llegan en un porcentaje pequeño a los sitios de

tratamiento, ya que casi todo es recuperado en su lugar de origen o bien es separado en los vehículos recolectores por las cuadrillas de recolección. Lo poco que llega a esos sitios es separado inmediatamente por la facilidad que representa su recuperación y es vendido a las fábricas de cartón como materia prima.

- **Papel.** Es el producto más cotizado por los pepenadores por su amplio mercado. El contenido en los desechos varía de un 12 a un 30%, con promedio de 15% en los países en desarrollo; sin embargo solo se puede considerar recuperable un 3% como máximo debido a la presencia de materia orgánica o exceso de humedad. El papel se procesa en las fábricas de cartón principalmente.
- **Plástico.** Los termoplásticos y principalmente el polietileno son los que se encuentran en mayor proporción en los desechos. El contenido común en las grandes ciudades asciende a un 6% en peso y se considera que podría recuperarse sin problema un 0.5%. Sin embargo, el mercado es un limitante en su recuperación ya que la limpieza de los residuos es sumamente difícil y costosa.
- **Vidrio.** Se clasifica generalmente en vidrio blanco y de color, teniendo el primero un precio más alto de venta, el contenido de éste varía de un 5 a un 10% y su factor de recuperabilidad es bastante alto, de un 2 a un 5%.

D.- Modalidades de clasificación.

- **Clasificación manual.** Esta se utiliza con bastante frecuencia para recuperar los productos cuya venta es rentable.

El personal dedicado a esta labor se instala, por lo general delante de la banda transportadora en la que se acarrearán los desechos domésticos. Este puesto de trabajo debe estar provisto de un extractor de polvo eficaz y se deben tomar todas las precauciones para mantener la higiene del personal y la limpieza de los locales.

- **Clasificación mecánica,** independientemente de la extracción de chatarra que se realiza automáticamente con electroimanes es posible hacer mecánicamente una clasificación de las basuras sin tratar, inmediatamente después de la fosa de recepción, para:

Separar los residuos finos y mezclarlos después con las basuras trituradas. Esta operación ofrece la ventaja de que disminuye el desgaste de los martillos de la trituradora y también el inconveniente de incorporar a la fermentación trozos de vidrio que no han pasado por

la trituradora, es decir, que son demasiado grandes y cortantes. Las mallas del tamiz deben medir 30 mm aproximadamente.

Separar los objetos voluminosos, como cajas grandes de cartón, jaulas, cajones, etc. El objeto de esta operación es separar desde el principio del tratamiento todos los productos molestos por su volumen o su composición. Después es posible utilizar bandas transportadoras más estrechas, recubrimientos más pequeños y entradas de las trituradoras más angostas. El desgaste de los martillos de las trituradoras disminuye y desaparecen los riesgos de accidentes y de que se bloquee la trituradora. Las mallas del tamiz deben tener un tamaño de 300 mm aproximadamente.

Esta clasificación mecánica de los desechos sin tratar produce un tonelaje considerable de rechazos, del orden del 15 al 20 % del tonelaje inicial, por lo que solamente se puede utilizar en las instalaciones mixtas de fermentación-incineración o en las que poseen un horno auxiliar capaz de incinerar todos estos residuos además de los del tamizado del producto final de la fermentación.

Se puede observar, sin embargo, que al proyectar las instalaciones actuales existe frecuentemente la tendencia de renunciar a las operaciones de clasificación mecánica antes de la trituración afín de simplificar la economía de la explotación. Esta tendencia se basa en el hecho de que las trituradoras son cada vez más perfectas y capaces de triturar los desechos sin clasificar.

2.1.3 Trituración.

La trituración de los desechos domésticos es una operación difícil. En efecto, las trituradoras se proyectan en la industria para un material determinado, pero los desechos domésticos incluyen una gran variedad de productos naturales o sintéticos, de humedad muy variable, duros, blandos, flexibles, pastosos o muy duros. Por lo tanto, las trituradoras de desechos deben estar provistas en lo posible de equipo especial para procesar material heterogéneo.

Trituradoras.

El aparato de trituración de uso más extendido es la trituradora de martillos. Se utiliza antes de la fermentación para preparar el producto para su transformación bioquímica posterior y, a veces, después de la fermentación para afinar el producto final y darle mejor presentación comercial o hacer más fácil su utilización.

La trituradora de martillos está compuesta por un depósito fijo de acero soldado, en cuyo interior giran uno, dos o tres rotores de eje generalmente horizontal. Cada uno de estos rotores es accionado por un motor eléctrico, por intermedio de correas de transmisión, con un acoplador hidráulico o por una conexión elástica.

Los rotores están constituidos por un eje al que van fijos unos discos de acero espaciados a unos diez centímetros. Estos discos llevan taladrados a unos centímetros de su periferia 4, 8, ó 12 agujeros. Los martillos, que consisten en unas simples barras rectangulares, están fijos en unos ejes que pasan por estos agujeros y, por tanto, quedan separados por los discos. Los martillos giran libremente sobre sus ejes y, cuando el rotor gira a una gran velocidad, toman una posición radial por efecto de la fuerza centrífuga y golpean todo lo que se vierte encima del rotor. Por otro lado, cuando un objeto voluminoso amenaza bloquear la trituradora, los martillos pueden plegarse para darle paso. Una rejilla situada debajo del rotor retiene los objetos hasta que se trituran al tamaño que se desea.

La velocidad tangencial del martillo en el punto de impacto tiene gran importancia para el resultado de la trituración. Para eliminar totalmente los virrios, esta velocidad tangencial debe ser del orden de 80 a 100 m/seg. Con esta velocidad se pulveriza el 80 % de los virrios y el resto se reduce a pequeñas partículas desgastadas incapaces de cortar nada. Si se conoce el diámetro del rotor, se puede deducir la velocidad necesaria de rotación, que varía entre 1500 y 2300 revoluciones por minuto, según los aparatos.

La trituradora de martillos absorbe una gran potencia variable con la cantidad de materia triturada y el tamaño que se desea de las partículas. A causa de las dimensiones de los desechos sin tratar, la potencia instalada no es inferior, por lo general a los 150 CV, sea cual sea el rendimiento/hora que se pretenda, cuando la trituradora se instala para triturar basuras domésticas sin clasificar. Por otro lado, no hay ningún límite superior y existen en el mercado trituradoras capaces de tratar 40 ton/h.

La cantidad de basura triturada por hora y el tamaño de las partículas son función de la potencia de la trituradora. Para un tamaño final medio de 80 mm, la potencia necesaria es de 15 CV ton/h de basura triturada y es función lineal de este rendimiento.

Una vez instalada la trituradora, la potencia es constante y el rendimiento/hora depende entonces del tamaño de las partículas de los materiales triturados, lo que también es una función lineal.

El número de trituradoras a utilizar en una instalación nueva depende, en primer lugar, del tonelaje total a tratar por día. Para que la explotación resulte fácil (posibilidad de realizar el mantenimiento durante un solo turno de 8 horas y de recuperar los retrasos ocasionados por las averías mecánicas), la duración teórica de la trituración debe ser de 5 horas por día. El rendimiento hora se obtiene entonces dividiendo el tonelaje diario entre 5, y el número de trituradoras a instalar se calcula de acuerdo con el rendimiento/hora que se elija.

Los desechos domésticos son muy abrasivos e imponen a las trituradoras unas condiciones de trabajo muy severas. Por esta causa, las piezas que se desgastan, como martillos, rejillas, placas de protección, etc., se deben poder desmontar y cambiar con facilidad y rapidez y debe haber un repuesto regular de las mismas. El desgaste de estas piezas depende de varios factores, a saber: El tonelaje diario de basura a tratar, el tamaño final de las partículas y la naturaleza de los residuos a triturar.

A veces se alarga la duración de las piezas que se desgastan utilizando aleaciones, pero el tiempo que se gana en las operaciones de recambio o de dar la vuelta a los martillos no siempre compensa el precio de estos materiales. En efecto, generalmente a los martillos de las trituradoras se les da la vuelta cuando están medio desgastados para utilizarlos por las dos caras.

2.1.4 Clasificación después de la trituración.

Las diferentes modalidades de clasificación que se realizan antes de la trituración, mecánicamente o a mano, no pueden separar del material a tratar más que los productos de un determinado volumen, como los objetos voluminosos, la chatarra y los metales no férricos. Por tanto después de la trituración es indispensable una nueva clasificación para mejorar la finura de las partículas del producto final eliminando ciertos productos indeseables, como los residuos de plástico, los trapos, el cuero y los trozos gruesos de vidrio y loza. Esta separación se efectúa mediante un cribado.

A.- Cribado.

El cribado de los productos se puede realizar antes de la fermentación, aunque lo más común es que se efectúe después. El inconveniente del cribado antes de la fermentación es que con los residuos se separa una gran proporción de papeles, mientras que si se hace después, la fermentación reduce estos papeles, que de este modo no aumentan el porcentaje de residuos. Se puede decir que, con el mismo tamiz, el porcentaje de residuos antes de la fermentación es el doble que después de la fermentación. Con un tamiz de malla de 30 mm estos porcentajes son,

respectivamente, del 30 y el 15 %.

Para el cribado se utilizan cribas rotatorias, vibratorias o de resonancia.

- Cribas rotatorias. Este aparato esta constituido por un cilindro casi horizontal que gira alrededor de su eje en el que se han perforado una serie de agujeros. Los materiales finos que caen del cilindro se recogen por separado para que constituyan el producto final de la fermentación.
- Cribas vibratorias. Estas están compuestas por un bastidor fijo sobre el que va montado, con muelles y amortiguadores, un tamiz accionado por un sistema de excéntricas o similar. La superficie del tamiz esta formada por una alambarrera metálica o por una chapa perforada con agujeros redondos o cuadrados. El inconveniente de la alambarrera es que retiene muchos trozos de cuerdas o de trapos, por lo que hay que limpiarla con frecuencia. El tamiz de chapa perforada no presenta este inconveniente pero, para la misma superficie total, la superficie de paso es más pequeña.

La alimentación de la criba tiene que ser uniforme y la superficie de tamizado se tiene que calcular con exceso. Hay que contar aproximadamente un metro cuadrado para cada tonelada/hora. Si la superficie de tamizado es demasiado pequeña, la altura de los materiales en el tamiz será demasiado grande y, en ese caso, los materiales finos situados encima serán arrastrados con los residuos. Para evitar este inconveniente, ciertas cribas van equipadas con tamices escalonados y de esta manera los materiales se voltean y dispersan al caer de un escalón al otro.

La mayor parte de las cribas no tienen más que una superficie de tamizado, aunque algunas poseen dos, lo que hace posible recuperar tres productos: un producto final fino, otro de finura media y los residuos. Por otro lado, el mismo resultado se puede conseguir con una sola superficie dividida en dos tamices sucesivos de mallas diferentes.

En algunos tamices, particularmente para conseguir una fina granulometría, la superficie de tamizado está calentada eléctricamente para secar el material que se va a tamizar. Esta clase de aparato permite desobstruir rápidamente las mallas y el tamiz, sobre todo cuando el producto final es húmedo.

- Cribas de resonancia. En las instalaciones de fermentación controlada de desechos se utilizan también cribas de resonancia, en las cuales la superficie de

tamizado es horizontal y se obstruye menos fácilmente que en las cribas vibratorias. El bastidor no es fijo, sino que va montado sobre muelles y, por reacción se desliza en sentido contrario al tamiz y, al final de cada carrera, el choque contra los amortiguadores amplifica el impulso que reciben los materiales que se criban.

2.2 Fermentación.

Los desechos domésticos frescos contienen toda clase de materiales, tanto naturales como sintéticos, susceptibles de ser atacados de muy distintas formas por los microorganismos.

Algunos residuos, como los alimenticios fermentan rápidamente; otros como los papeles y el cartón especialmente, lo hacen más lentamente, y otros no fermentan en absoluto. Estos últimos son las materias inertes, como la ceniza. No obstante, teniendo en cuenta las condiciones que crea la fermentación (riqueza en CO₂, temperatura elevada, mucha humedad, potencial de oxidación variable, etc.) hay que observar que aunque los materiales presentes sufren su influencia y que, aunquela velocidad de algunas reacciones de carácter estrictamente químico es escasa a la temperatura ordinaria, esta velocidad puede aumentar considerablemente a temperaturas del orden de los 60 grados centígrados.

Por otro lado, hay que observar que los materiales aptos para la fermentación son, por lo general, poco densos por lo que distinguiremos en los desechos domésticos los materiales pesados (de densidad relativa superior a 1.5) que contiene pocas materias fermentables, y los productos ligeros (de densidad relativa inferior a 1.5) que contienen la mayor parte de las materias orgánicas aptas para que las transformen los microorganismos.

2.2.1 Materiales pesados.

Están constituidos por vidrios, metales, tierras, polvo y ceriza. Estos cuerpos se eliminan en mayor o menor cantidad durante la preparación mecánica, en la que hay que procurar reducir al mínimo las pérdidas de materias orgánicas fermentables.

Teniendo en cuenta la proporción relativamente pequeña de materias orgánicas totales que se encuentran de este modo en los productos pesados en comparación con los productos minerales se puede considerar prácticamente a los productos pesados en conjunto como no fermentables. Hay que tomar en cuenta, que pueden suministrar pequeñas cantidades de ciertos elementos que favorezcan la proliferación de los microorganismos útiles en los suelos y, por otro lado aportan productos químicos que sirven de

abono, como el ácido fosfórico y la cal.

El carbono se presenta en los desechos domésticos bajo diferentes formas más o menos oxidadas. Aunque algunas veces se encuentran grandes fragmentos lo más frecuente es que aparezca muy dividido, cubierto de finas partículas de cenizas. A pesar de que el carbón no es fermentable, este representa un papel importante a causa de su enorme poder de absorción, tanto en las reacciones químicas como en las fermentaciones que se producen en los montones de desechos en tratamiento.

2.2.2 Materiales ligeros.

En esta categoría entran constituyentes muy diversos ya que se encuentran a la vez plásticos, papel, tejidos, caucho, escorias y otros residuos domésticos sin contar, toda clase de embalajes y sus derivados.

Ninguna materia orgánica es completamente inatacable por los microorganismos, sobre todo si está finamente dividida. No obstante es preciso diferenciar las que son fácilmente degradables (hidratos de carbono) de las que son poco o nada (plásticos y caucho).

2.2.3 Mecanismo de la fermentación.

El mecanismo de la fermentación de los desechos domésticos se realiza mediante procesos muy variados y complejos, a causa de la inestabilidad del sustrato, de su heterogeneidad y de su procedencia. Como todas las sustancias fermentables, estas materias dependen de los factores habituales que producen por degradación microbiana un importante desprendimiento de energía térmica. Estos factores son los siguientes:

A.- Agua

El contenido óptimo de agua es del 45%. si las materias orgánicas totales no exceden al 50% al principio de la fermentación. Esto es generalmente lo que ocurre en los climas templados. Sin embargo si el contenido total de materia orgánica de los residuos alcanza el 60% habrá que aumentar el contenido de agua hasta el 55% aproximadamente. Como la humedad original de la basura es del 30 al 35%, para alcanzar el 45% habrá que aumentar el contenido de agua en un 10% aproximadamente es decir, 100 litros por tonelada de basura fresca triturada. Esta función se debe realizar después de la trituración y antes de que empiece la fermentación.

Para controlar el contenido de agua y evitar que sea excesivo, es necesario que la fermentación se haga al resguardo de la lluvia y, por el mismo motivo las superficies de fermentación deben estar en pendiente y

perfectamente drenadas.

Estas precauciones son indispensables para mantener la descomposición aerobia de las materias orgánicas y evitar los malos olores. En efecto, si el agua es necesaria para la buena fermentación, el exceso de agua impide circular el aire entre las partículas provocando fermentaciones anaerobias.

B.- Aire

La aireación de los montones de residuos en proceso de digestión se puede hacer de varias formas:

- removiendo el montón a mano o a máquina,
- haciendo circular el aire por conductos perforados,
- inyectando aire a presión (caliente o no) en los residuos.
- mediante una pequeña descompresión (aspiración a través del montón),
- mezclando continua o intermitentemente los residuos,
- combinando varios de los anteriores procedimientos.

La cantidad de aire que hay que suministrar es teóricamente de 4.5 a 5 l/kg/h de materia fresca con el 45% de agua. Es preferible, de todas formas, utilizar un pequeño exceso para asegurar una oxidación rápida.

Teniendo en cuenta las cantidades necesarias de aire, la temperatura de éste no deja de tener importancia. En efecto, la circulación de aire en las instalaciones bien controladas sirve al mismo tiempo para aumentar la velocidad de la termogénesis y para bajar la temperatura cuando se juzga necesario.

En realidad la fermentación consume las materias orgánicas y para conseguir un producto final de calidad es necesario que estas materias orgánicas no sean destruidas del todo.

C.- Factores circunstanciales.

El contenido de materias fermentables de los residuos básicos representa un papel importante en la velocidad con que aumenta la temperatura en los desechos domésticos, además la homogeneidad de la mezcla, el estado de división del material y la disposición de los montones pueden retardar igualmente la velocidad de incremento de la temperatura.

D.- Fases de la fermentación.

En la fermentación de desechos domésticos se pretende alcanzar una temperatura elevada para obtener la asepsia del material mismo y conseguir la producción de humus. Estos dos procesos se deben a la acción sobre la materia orgánica de los microorganismos que contienen los

productos a tratar los cuales proliferan en cuanto las condiciones ambientales (aire, agua y temperatura) les son favorables. En la fermentación, como lo indica la curva teórica de la figura siguiente, se pueden distinguir varias fases:

- La fase de latencia corresponde al tiempo en que los microorganismos necesitan para colonizar el nuevo medio creado para ellos. Durante este período de adaptación, que por otra parte empieza cuando se depositan los desechos, la acción microbiana es extraordinariamente activa.
- La fase de crecimiento es la de aumento de temperatura. Depende de la naturaleza del sustrato y es más rápida cuando los dos factores principales aire y agua, son óptimos.
- La fase termofílica es la de temperatura más alta y puede durar más o menos, de acuerdo con las condiciones del medio (aire y agua), la riqueza de materia orgánica en el sustrato y el aislamiento térmico. Los microorganismos en esta fase causan la mayor parte de la fermentación.
- La fase de maduración o decrecimiento corresponde a una fermentación secundaria, lenta, más favorable a la humidificación es decir, a la transformación bajo la acción de los microorganismos de ciertos compuestos orgánicos en coloides húmicos estrechamente asociados a los elementos minerales (hierro, calcio, nitrógeno, etc.) y finalmente en humus. Por otra parte, beneficia vender el producto de la fermentación cuando ha terminado la fase termofílica, ya que es más rico en materia orgánica y permite que humidificación se termine "in situ", gracias a los microorganismos del suelo.

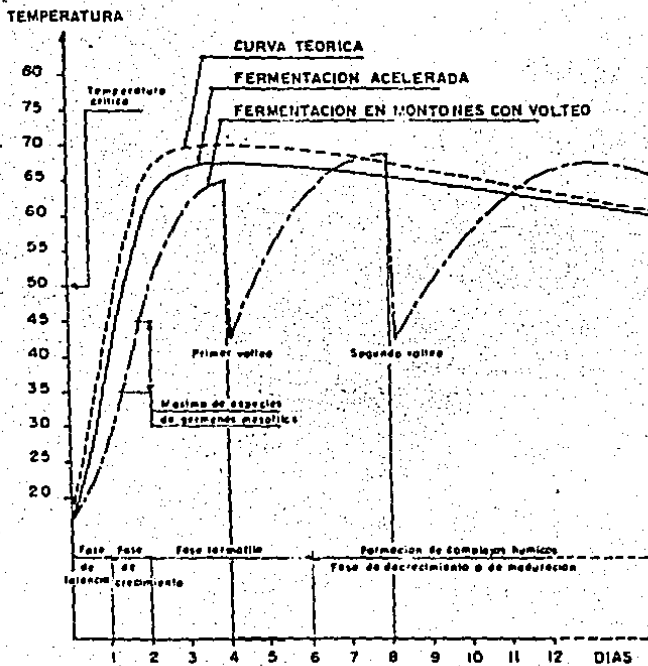


FIG. 3.2
FASES DE LA FERMENTACION.

2.3 Procesos de composta.

Existe un gran número de métodos mecanizados patentados para el tratamiento bacteriológico; los más comunes son el bioestabilizador Dano, el método modificado de tratamiento en montones o sobre superficies y Buhler:

2.3.1 Procedimiento Dano.

Este consiste fundamentalmente en una transformación física (trituración) y bioquímica (fermentación) en el interior de un largo cilindro metálico horizontal que gira constantemente y que se denomina bioestabilizador.

La alimentación de desechos domésticos en el cilindro giratorio es continua, sin clasificación previa a excepción de la extracción magnética eventual de chatarras férricas que se hace con el objeto de recuperarlas.

La humidificación y aireación adecuadas favorecen la trituración y la fermentación simultáneas de los desechos, cuyos efectos se conjugan para producir la degradación final.

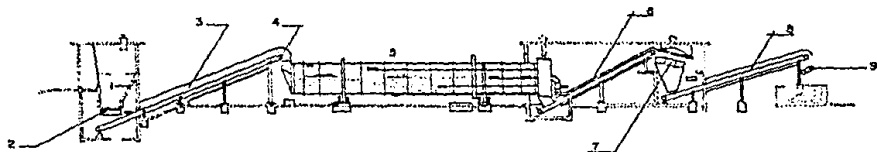
Después de una permanencia en el cilindro que varía entre uno y tres días, de acuerdo con el grado de fermentación que se desea y la necesidad de conseguir en esta fase del tratamiento la destrucción de los gérmenes patógenos, se someten los productos a una clasificación mecánica (cribado vibratorio, separación densimétrica de los trozos de vidrio) y eventualmente a una refinación por trituración. el producto que se obtiene con este procedimiento prosigue su evolución en un área de maduración.

La cadena de funcionamiento continuo comprende, fundamentalmente lo siguiente:

- Una fosa de recepción de desechos, cuyo fondo móvil lo constituye un extractor de paletas que asegura el almacenamiento, la homogeneidad y la distribución de los desechos.
- Una banda transportadora de alimentación del bioestabilizador, provista de un separador magnético.
- Un bioestabilizador.
- Una banda transportadora de alimentación de la criba.
- Una criba vibratoria.
- Una banda transportadora de extracción de los materiales fermentados

- Un separador densimétrico de trozos de vidrio, loza, etc.

PROCEDIMIENTO DANO



- | | |
|--|--|
| 1. FOSO DE RECEPCION | 6. CINTA TRANSPORTADORA DE ALIMENTACION DE LA CRIBA. |
| 2. EXTRACTOR DE PALETAS | 7. CRIBA VIBRATORIA. |
| 3. CINTA TRANSPORTADORA DE ALIMENTACION DEL BIOESTABILIZADOR | 8. CINTA TRANSPORTADORA DE EXTRACCION DE MATERIALES FERMENTADOS. |
| 4. SEPARACION MAGNETICA | 9. SEPARACION DENSIMETRICA. |
| 5. BIOESTABILIZADOR. | |

FIG. 3.3

2.3.2 Procedimiento modificado de tratamiento en montones o sobre superficies.

El proceso de clasificar, triturar los residuos y depositarlos en montones alargados de 1.50 a 1.80 m de altura aproximadamente es lo que se denomina comunmente como tratamiento en montones.

El tratamiento en montones modificado utiliza cierta cantidad del producto final como semilla, aire a presión, volteo y trituración, periódicas. Este proceso es más eficaz y exige aproximadamente la mitad del tiempo que el tratamiento en montones ordinario, que depende de la ventilación natural y de voltear ocasionalmente los residuos para airearlos. Con el procedimiento modificado, el material se puede apilar en largos montones de 1.20 a 1.80 m de altura aproximadamente y de 2.45 a 3.65 m de ancho, y se pueden inyectar en el cantidades controladas de aire a presión de varias formas.

Para estaciones de la misma capacidad, el tratamiento sobre superficies exige una extensión de solamente la tercera parte de la que exige el tratamiento en montones, ya que el material triturado se apila con una altura uniforme sobre unas superficies grandes y bien definidas, por debajo de las cuales se distribuyen cantidades controladas de aire que pasa por unos conductos, atravesando un suelo poroso y arenoso. Puede utilizarse la siembra de pequeñas cantidades del producto terminado y suelen voltearse los residuos. Cuando se hacen estas dos cosas, el proceso solamente dura de 10 a 14 días.

2.3.3 Procedimiento Buhler estático/dinámico.

Una instalación normal de compostaje Buhler se compone de las siguientes partes del proceso:

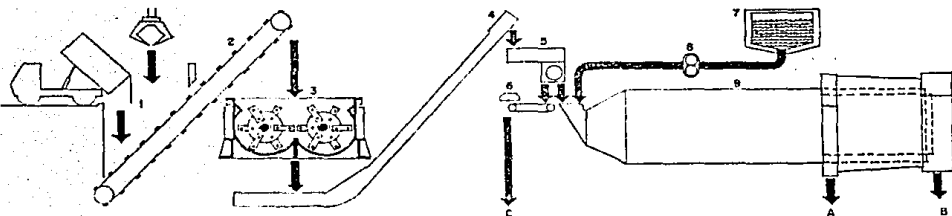
- Tratamiento previo, por una rampa de acceso llegan los camiones a depositar los desechos en las tolvas de recepción, estos se transportan a una banda de láminas de acero (alimentación al molino), por medio de una grúa tipo almeja. El molino está proyectado de forma que pueda triturar tanto basura domiciliaria como voluminosa. La materia triturada, cae a través de una tolva alimentadora a un transportador de cadena, el cual consiste en una caja de transporte cerrada, de chapa de acero y de sección rectangular por la cual marcha una cadena sin fin, provista de travesaños. A la salida de la banda transportadora el material transportado se descarga sobre un alimentador vibratorio que permite el transporte y desmenuamiento de la materia. Una vez que a pasado por este alimentador, los residuos caen directamente sobre el separador magnético (tipo tambor); las partículas magnéticas son separadas de la materia

orgánica por la acción magnética del tambor, en un sector de 180 grados, enviando las partículas metálicas a una banda especial, en virtud de que las partículas metálicas atrapadas por el separador magnético, todavía llevan un porcentaje de materia orgánica recuperable, se instala al final de la banda otro separador magnético tipo sobre banda. Las partículas metálicas al pasar por este segundo separador son atraídas por el magneto a causa del impacto la materia orgánica que está pegada a las partículas se separa del metal y cae nuevamente a la banda. Esta banda descarga sobre otra que conduce la materia a una tolva donde se junta con la materia orgánica del cribado. En la siguiente etapa existe un tronel de mezcla, homogeneización y cribado.

- Fermentación estática/dinámica, siguiente al tratamiento previo, la composta fresca con un dispositivo automático compuesto de una banda transportadora con carro móvil y cinta expulsora reversible, es apilado en montones primarios. La aireación, volteo y homogeneización cíclicas así como el desplazamiento lateral de los montones se efectúan con una volteadora. Esta máquina de volteo puede ser accionada de forma totalmente automática. La fermentación puede efectuarse en una nave cerrada.

Si se desea una composta fina, se coloca una criba y un molino de martillos después de la fermentación.

PROCEDIMIENTO BUHLER



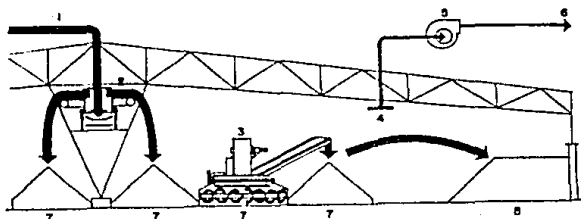
- 1 RECEPCION DE BASURAS
- 2 CINTA DE LAMINAS DE ACERO.
- 3 TRITURACION GRUESA.
- 4 TRANSPORTADOR DE CADENA
- 5 SEPARADOR MAGNETICO 1a. ETAPA
- 6 SEPARADOR MAGNETICO 2a. ETAPA.

- 7 DEPOSITO DE LODO
- 8 BOMBA PARA LODO.
- 9. TROMEL DE MEZCLA, HOMOGENEIZACION Y CRIBADO O DIGESTOR CON CRIBA.

- A. COMPOST FRESCO GRUESO.
- B. RECHAZO DE LA CRIBA.
- C. CHATARRA.

FIG. 3.4
TRATAMIENTO PREVIO.

PROCEDIMIENTO BUHLER



1. COMPOST FRESCO PROCEDENTE DEL TRATAMIENTO PREVIO.
2. CINTA TRANSPORTADORA CON CARRO MOVIL Y CINTA EXPULSORA REVERSIBLE.
3. MAQUINA VOLTEADORA TOTALMENTE AUTOMATICA COMPO-STAR 4000.

4. ASPIRACION.
5. VENTILADORES
6. FILTRO DE TIERRA CON CAMARA DE SEDIMENTACION.
7. FERMENTACION PREVIA (F. INTENSIVA).
8. FERMENTACION FINAL

FIG. 3.4

LA FERMENTACION ESTATICO DINAMICO.

3. Incineración.

Es el proceso que convierte, a través de una combustión controlada, desechos combustibles en productos gaseosos y en cenizas que contengan principalmente material no combustible.

Para el estudio de incineradores se debe considerar en primer término la determinación de composición y peso (reales o hipotéticos) de los desechos urbanos, de la naturaleza de éstos depende la cantidad de aire necesario para la combustión, el calor generado, el volumen de humos producidos y en definitiva las dimensiones de los componentes de la instalación. Dada las grandes variaciones que experimentan los desechos y la forma de conseguir los datos suficientes para el diseño de las instalaciones se debe seleccionar un número de constituyentes de los desechos más normales, efectuando los análisis necesarios y determinando su poder calorífico (PC). Se ha constatado que desechos con un PC semejante tienen un análisis elemental similar, lo que ha dado lugar a una gran simplificación del problema que queda reducido únicamente a estimar el PC.

3.1 Principios de combustión.

Se define como combustión el proceso de reacción (oxidación) de los desechos con el oxígeno del aire que es acompañado generalmente por desprendimiento de energía en forma de luz y/o calor.

El objeto de la combustión es la conversión de los desechos combustibles a productos gaseosos y desechos menos voluminosos que los originales. Esto regularmente se cumple observándose una reducción volumétrica de un 75% dependiendo de las características de los desechos sólidos a incinerar. También al ser sometidos los desechos al proceso de combustión su peso es reducido en un 75% basados en el peso cuando son alimentados al incinerador debido a la pérdida de humedad.

3.1.1 Características del aire comburente.

La composición del aire en volumen, en estado seco es de 20.8% de oxígeno (O₂), 79.2% de nitrógeno (N₂) y vestigios de gases neutros. Su composición en masa, igualmente en estado seco, es de 23.08 de oxígeno (O₂), y 79.92 de nitrógeno (N₂); además su masa volumétrica es de 1.293 kg/Nm³ (a 0 grados centígrados y 1.013 milibares).

Combustión del carbono, reacción completa se puede sintetizar en:



MASA MOLECULAR / C = 12
 < O₂ = 32
 \

Esta es una reacción exotérmica a volumen constante.

Reacción incompleta, tiene lugar en un medio reductor (falta de oxígeno):



Esta es la primera etapa de la combustión se continúa por la oxidación completa del carbono:



El exceso de oxígeno tiene por objeto asegurar la combustión completa y evitar así el desprendimiento de anhídrido carbonico (CO).

Combustión del hidrógeno:



MASA MOLECULAR / H₂ = 2
 < O₂ = 32
 \

La reacción es exotérmica, el desprendimiento de calor es de: 57.8 kcal/mol, si el agua formada está en estado de vapor 68.32 kcal/mol si el agua a vuelto al estado líquido.

En las instalaciones industriales queda en estado de vapor y el desprendimiento de calor a considerar es, por lo tanto de 57.8 kcal/mol.

3.1.2 Parámetros de combustión.

Para obtener una combustión completa de desechos con baja emisión de partículas, es necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Aire en exceso, se define como la diferencia entre la cantidad de aire realmente suministrada a la unidad de masa de combustible y el aire teórico requerido. La temperatura máxima se obtendrá con el mínimo de exceso de aire, cuanto más elevado sea éste menos elevada será la temperatura.

La experiencia demuestra que los residuos de la combustión (cenizas y escorias) tienen un punto de

reblandecimiento situado entre 1000 y 1500 grados centígrados. Por esto, la temperatura de los gases en la cámara de combustión no debe sobrepasar 900 a 1000 grados. Una temperatura superior provocaría la fusión de las cenizas, formándose en consecuencia depósitos sobre las paredes que pueden alcanzar espesores importantes.

Además de su papel en la combustión completa, el exceso de aire tiene por objeto limitar la temperatura del horno.

Por lo tanto la cantidad de aire en exceso deberá mantenerse en el orden de 50 a 150% por arriba de lo estequiométricamente requerido.

- Uso mínimo de aire inyectado bajo el fuego. Mantiene velocidad baja y por lo tanto reduce la emisión de partículas del incinerador debido a que coloca a las pequeñas partículas fuera de la corriente del gas.
- Uso de aire inyectado sobre el fuego. Provee el oxígeno suficiente y turbulencia en el espacio de combustión por encima del cauce del combustible. El aire inyectado sobre el fuego al sistema puede ser tan alto como el 50% más del total requerido.
- Cantidad de calor. Las cantidades de calor necesarias para el secado y la transformación están en función de la humedad, contenido de cenizas y de la proporción de materias combustibles. Este calor es suministrado por la radiación de la llama o de las paredes cubiertas, y en casos particulares por el reciclado de humo y precalentamiento del aire. Para un PC de 1300 kcal/kg, la cantidad de calor necesario para iniciar la combustión es de aproximadamente 500 kcal/kg.
- Temperatura. El horno deberá tener una temperatura entre 750 y 1000 grados centígrados para reducir el porcentaje de formación de humo y olores. Temperaturas abajo de 750 grados centígrados producirían humo y permitirían el escape de olores del incinerador.
- Espacio. El incinerador deberá tener lugar suficiente para la combustión y así proveer de un espacio necesario de residencia para quemar todas las partículas del material flotante.
- Tiempo de residencia. Los gases dentro del horno deberán permanecer entre 1 y 2 segundos.

En un incinerador se presentan dos fases superpuestas de combustión, una primaria donde generalmente los cambios físico-químicos ocurren y consisten en el secado, volatilización e ignición de los desechos y una combustión secundaria, donde se presenta la oxidación de los gases y

la materia particulada semiquemada liberada en la primera combustión.

3.2 Instalación.

El proceso en general consiste en secar los desechos dentro del horno, elevar la temperatura de los mismos hasta el grado de incineración, introducir el aire necesario para la combustión y cuando ésta ha terminado, evacuar los residuos.

El proceso es continuo; por un lado entra al horno los desechos y salen por el otro extremo completamente quemados. Durante esta combustión se producen gases y una parte de escorias; los productos gaseosos debido al exceso de aire que se emplea, no contienen gases de destilación mal oliente ni monóxido de carbono.

Para el diseño del incinerador se deben distinguir los siguientes elementos:

3.2.1 Zona de control.

Consiste en una caseta de control y una báscula de plataforma para los vehículos recolectores, ubicada en la entrada de la instalación de modo que se oblique a todos los vehículos a pasar por ahí. La báscula es de utilidad, ya que se tiene control de los desechos que entran, así como de las escorias y subproductos que salen de la instalación.

3.2.2 Zona de maniobras.

Es el área adjunta a la zona de almacenamiento diseñada de tal manera que permita descargar simultáneamente el máximo número de vehículos recolectores, ya que estos tienden a llegar a la instalación en grandes cantidades durante intervalos cortos de tiempo.

3.2.3 Zona de almacenamiento.

El objetivo de esta zona es la de proveer un lugar seguro y conveniente para los desechos, antes que estos sean alimentados al incinerador. La determinación de esta zona estará fijada por la velocidad de incineración, el horario de funcionamiento, el número, horario y frecuencia de llegada de los vehículos recolectores y de la densidad de los desechos, cuando estos son descargados. Usualmente la zona de almacenamiento es diseñada para contener 1.5 veces la capacidad del incinerador en 24 horas.

3.2.4 Zona de alimentación.

En los incineradores pequeños donde la zona de almacenamiento está al mismo nivel que la zona de alimentación, se puede utilizar una banda de tablillas o un contenedor vibratorio; y en el caso de instalaciones mayores es necesario una tolva, una puerta de alimentación y una grúa.

Las tolvas de alimentación cumplen la función de mantener un flujo continuo de desechos hacia el horno. Están localizadas en la parte superior del horno de tal manera que los desechos puedan descender por gravedad. Generalmente están refrigeradas en su parte inferior por una doble camisa de agua, para evitar que el calor radiado por el horno destruya el material con el que están construidas, y para evitar asimismo que los desechos se sequen prematuramente en la tolva de carga y puedan entrar en ignición.

El tipo de alimentación del horno requiere puertas articuladas o deslizantes que permitan descargar los desechos dentro del horno y cerrar la abertura.

En incineradores de capacidad menor de 300 ton/día los desechos son regularmente elevados desde la zona de almacenamiento a la tolva de alimentación por medio de una grúa monoriel, para mayores capacidades es necesario el uso de un puente grúa para la alimentación.

3.2.5 Hornos.

Estos pueden ser de alimentación continua o intermitente:

- Hornos de alimentación intermitente, son empleados generalmente en instalaciones pequeñas hasta 200 ton/día, la descarga de los desechos ya incinerados es generalmente evacuada por un sistema de tolvas y hasta que son totalmente evacuados se admite una nueva carga de desechos.
- Hornos de alimentación continua, donde los desechos son alimentados continuamente a través de dispositivos mecánicos o hidráulicos. El proceso de quema se desarrolla durante el movimiento del material combustible a través del Área de las parrillas siendo descargados los residuos no combustibles continuamente en un depósito del cual son removidos en transportadores mecánicos.

La mayor diferencia entre los tipos de hornos de alimentación continua radica en las parrillas. El tipo de parrillas determina la forma y configuración del horno.

3.2.6 Parrillas.

Son la parte más importante del horno de alimentación continua. Las parrillas pueden voltear y agitar los desechos de modo que permitan que se realice la combustión completa.

- Parrilla de combustión, normalmente la zona de secado y transformación está formada por una parrilla inclinada, con el fin de que la superficie que presentan los desechos hacia los gases y hacia la bóveda superior incandescente, sea la más amplia posible para conseguir un secado más rápido.

Posteriormente, con el fin de que la combustión se efectue de un modo más uniforme los desechos necesitan ser removidos para presentar nuevas superficies al aire de combustión.

El calor desprendido por la capa de combustible no debe llevar la temperatura de la parrilla a valores peligrosos. Es preciso dimensionar la superficie de la parrilla de tal modo que el contenido de inertes en los residuos no exceda de los valores previstos.

La operación sobre los diferentes tipos de parrillas destinados a la incineración de residuos es función de los siguientes factores:

- Capacidad de la cantidad de combustible incandescente a recibir y quemar una masa importante y variable de residuos.
- Capacidad de los refractarios a absorber el calor transmitido por radiación.
- Caudal, temperatura del aire y exceso del aire regulables.
- Tiempo de estancia regulable según la naturaleza del combustible.
- Altura de la capa de desechos.
- Enfriamiento regulable de las escorias.

El atizamiento, la agitación y el desmembramiento de la capa de desechos, son necesarios para que la llama pueda desarrollarse convenientemente. Por otra parte las materias consumibles desprendidas por el movimiento necesitan un cierto tiempo para arder completamente.

3.2.7 Cámara de combustión.

Es el lugar donde el gas combustible desprendido sobre la parrilla y los coques volantes se mezclan con el exceso de aire introducido a través de la parrilla, y se produce la combustión de esta mezcla. La cámara está limitada por la superficie de la parrilla, una corta boveda de entrada y una boveda de recirculación más larga, el estrangulamiento la subdivide en una cámara de combustión primaria y una cámara de fin de combustión. El calor emitido por la llama debe ser transmitido por radiación hacia la parrilla por intermedio de la boveda, proceso indispensable para el secado, transformación y comienzo de la combustión, en las zonas de combustión primaria y fin de combustión. Una fuerte agitación al nivel del estrangulamiento de la cámara de combustión reemplaza a veces la adición de aire secundario. La forma de la llama es función de las condiciones del horno, la llama debe llenar tanto como sea posible la cámara de combustión y no debe haber lugar para que se produzcan cambios de dirección, que permitan la separación de grandes hollines.

La calidad de los ladrillos refractarios y aislantes empleados en la construcción del horno, influirán en la vida del mismo. También son importantes los muros situados inmediatamente sobre las parrillas, debido a que en esta zona la acción erosiva de los desechos arrastrados por las parrillas será muy fuerte y en caso de no tener el refractario adecuado a este fin, será rápidamente destruido. Se suele emplear una primera capa de ladrillo de carburo de silicio (debido a su dureza) seguido de una cámara de aire, finalizando con una capa de ladrillo normal y una capa de ladrillo aislante.

3.2.8 Cámara de combustión secundaria.

En esta cámara recubierta con material refractario los gases volátiles y las partículas no quemadas, las cuales fueron desprendidas durante el proceso de ignición primario, son inyectadas con aire secundario para asegurar su combustión completa.

Al tener una cámara de combustión secundaria los incineradores requieren menos aire en exceso sobre las parrillas en comparación con los que no la tienen.

3.2.9 Remoción de los desechos no combustibles.

Los desechos no combustibles permanentes después de la incineración son: cenizas, vidrio, metales y material inorgánico.

El volumen mayor de estos desechos proviene de los

residuos que se encuentran en las parrillas, el resto de las partículas y del lavado de gases. Estos desechos deben ser removidos de la planta y llevados a un sitio para su disposición final.

3.2.10 Instalación de la unidad lavadora de humos.

La temperatura de los humos a la salida de los hornos, está generalmente comprendida entre 800 y 900 grados centígrados, deben ser enfriados hasta los 300 grados, temperatura considerada ideal para el buen rendimiento del acero ordinario.

Se pueden emplear tres procedimientos: enfriamiento por caldera de recuperación, enfriamiento por recuperación de agua o enfriamiento por dilución con el aire atmosférico.

El contenido de polvos en los humos se encuentra en grandes cantidades en la incineración de desechos domésticos por lo que se debe de utilizar un depurador para solucionar el problema de la contaminación atmosférica producida por los centros de incineración.

PROCESO DE INCINERACION

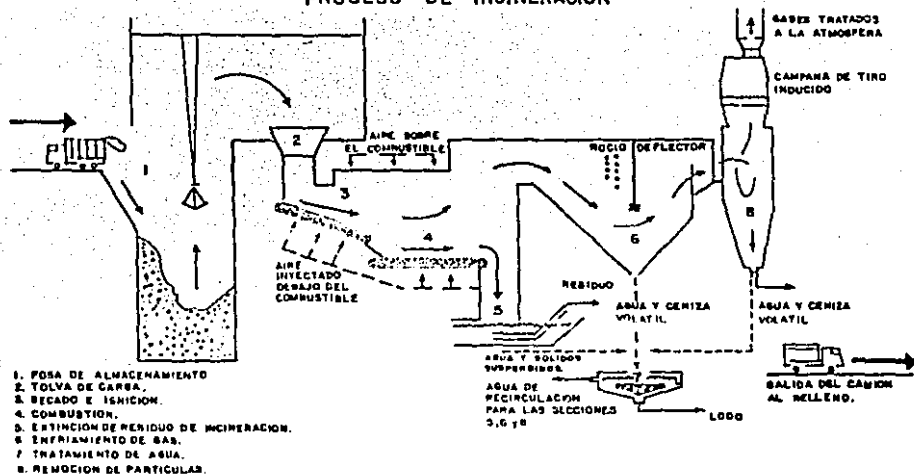


FIG. 3.5

4. Relleno Sanitario.

El relleno sanitario es definido como el método de Ingeniería para la disposición final de los desechos, colocándolos en el suelo distribuidos en capas, compactándolos y tapándolos con material de recubrimiento al final del día de la operación o tan frecuente como sea necesario, de tal manera que los desechos no sean un peligro para la salud pública o el ambiente.

En la etapa del diseño de un relleno sanitario, después de tener los datos preliminares del sitio elegido y características de la zona, se puede optar por los dos métodos de diseño existentes: el de trinchera, el de área o una combinación de ambos.

4.1 Selección del terreno.

Se debe buscar un terreno adecuado y asignar el uso del mismo. Este es el más importante de los pasos que preceden a la explotación en el programa de desarrollo de rellenos satisfactorios.

Para determinar la conveniencia de un terreno para utilizarlo como relleno se tienen que evaluar muchos factores entre ellos: los problemas de sanidad y molestias públicas que origina el tratamiento incontrolado de residuos, los procedimientos operativos, las posibilidades de los ocupos que se pueden emplear, los problemas climatológicos, la hidrografía, el uso futuro de los terrenos, los caminos que facilitaran el acceso al relleno sanitario, la disponibilidad de materias de recubrimiento la situación respecto a viviendas e industrias, la distancia media que tienen que recorrer los vehículos de transporte, la posibilidad y significación de la contaminación de aguas superficiales y freáticas, las disposiciones de reglamentación urbanística y la posibilidad de aceptación pública y de popenadores.

- Salud y seguridad públicas. Los rellenos sanitarios correctamente situados, proyectados y eficazmente operados cumplen las normas y disposiciones de salud pública, de control de emisión de contaminantes y de prevención de incendios y molestias:

- La reproducción y subsistencia de ratas, moscas y otros animales molestos y dañinos se evita eliminando todo lo que puede servirles de refugio o alimento.

Se elimina la contaminación atmosférica por polvo, humo y malos olores.

Se elimina el peligro de incendio durante las fases operativas. Este peligro es prácticamente inexistente cuando el relleno está cubierto satisfactoriamente.

La contaminación de aguas superficiales y freáticas queda excluida.

- Necesidades de espacio para los rellenos. Para calcular el volumen necesario para vertidos en un relleno sanitario de una comunidad cualquiera hay que conocer la cantidad de residuos generados por habitante/año y la profundidad del relleno. Es conveniente que el área disponible pueda servir durante 5 a 10 años.
- Topografía. Las depresiones naturales o artificiales del terreno que hay que nivelar, como barrancos, ciénagas y canteras abandonadas, se consideran generalmente adecuadas topográficamente y económicamente, para la instalación de rellenos sanitarios, siempre y cuando las operaciones de terraplenado se realicen de forma que las aguas superficiales sigan evacuándose normalmente.
- Distancia desde las zonas de recolección. El terreno debe tener varios caminos de acceso para que si uno de ellos se inutiliza temporalmente, el terreno no quede aislado. En las áreas metropolitanas es conveniente que los caminos de acceso permitan desviar los vehículos de las secciones residenciales, comerciales o industriales.

El costo de transporte debe ser considerado como parte de los costos de la operación del relleno. Las opciones entre distancia y costos de operación deben ser considerados en todas las alternativas. Por ejemplo, la disponibilidad de vehículos de transferencia de gran capacidad puede ser atractivo al tener grandes distancias de transporte, y vehículos recolectores para pequeñas distancias.

- Disponibilidad del material de recubrimiento. Para que un relleno sea considerado sanitario, éste deberá ser cubierto al final de las operaciones del día o tan frecuente como sea necesario.
- Climatología. El clima es un factor muy importante para la evaluación de los terrenos para rellenos. Un período de lluvias muy largo puede inundar los terrenos bajos dificultando la maniobra de los vehículos. La intensidad y dirección de los vientos predominantes tienen también importancia para evitar que se vuelen papeles y determinar la dirección en que los olores son arrastrados.
- Drenaje. Es necesario un buen drenaje del mismo relleno, pero es necesario también tener en cuenta que efecto tendrá el vertido de residuos sobre la hidrología natural de la zona. La planificación de los rellenos sanitarios tiene que prever adecuadamente todas las corrientes máximas de desague. Puede ser posible desviarlas y hacer que rodeen el relleno con un gasto mínimo, o puede ser necesario tener que construir una tubería o canal cubierto de dimensiones considerables que quede tapado después por

el relleno.

- Presencia de agua superficial en la zona. La presencia de pequeños estanques debe ser revisada, ya que estos son el resultado de un deficiente drenaje natural y una probable alta impermeabilidad del suelo debido a la presencia de suelos cohesivos y poca evaporación en la zona. También es posible que esta acumulación superficial se deba a un alto nivel de aguas freáticas.
- Proximidad de abastecimientos de agua potable. Se debe tomar en cuenta la localización de los abastecimientos de agua potable de la comunidad ya que un terreno cerca de ellos debe ser descartado en las primeras fases del proyecto, con el objeto de no tener ningún problema de contaminación en un momento que llegará a fallar la operación del relleno sanitario, ya sea en forma natural o artificial.
- Uso final. El uso final del sitio convierte la inversión inicial en parte atractiva del proyecto. Sin embargo, en algunos casos, cuando un uso específico del sitio al final de la operación no es el planeado, puede hacer que los costos de las mejoras para lograrlo lo hagan prohibitivo.

En la mayoría de los casos el sitio seleccionado debe ser tal, que puede ser mejorado con la operación del relleno sanitario. Así se logra que con inversiones razonables compartidas con el beneficio de disponer sanitariamente de los desechos sólidos se logra un desarrollo total del área en cuestión.

Es necesario tener en cuenta las reacciones físicas y bioquímicas de la masa de residuos comprimidos y recubiertos y la repercusión que pueden tener las prácticas operativas sobre ella. Generalmente, se desiste de edificar viviendas en los rellenos sanitarios y la construcción de grandes edificios sólo se debe permitir después de un cuidadoso estudio técnico.

4.2 Investigación del Sitio.

4.2.1 Estudio Geohidrológico.

Suponiendo que el resultado del proceso de la selección del terreno es un sitio potencialmente bueno, un detallado estudio geohidrológico es necesario, para verificar datos previos y proveer detallada información del proceso de diseño.

El primer requerimiento básico es un conocimiento más profundo de los suelos y la geología que el realizado en la selección del terreno. Este estudio nos deberá de proporcionar como objetivos principales: la localización

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

del nivel de aguas freáticas y un corte estratigráfico de los suelos, de tal manera que nos de información acerca de la disponibilidad de tierra que tenemos para material de cubierta, así como sus características geológicas las cuales nos ayudarán a conocer el volumen disponible de material de cubierta, así como la línea de máxima excavación de la operación del relleno sanitario.

Con la información resultante de este estudio se podrán conocer puntos importantes para el diseño y un aspecto de gran importancia como lo es el flujo de agua subterránea, el cual puede sufrir efectos en su pureza por el prohebio lixiviado que se pudiera generar en el relleno y que pudiera contaminar agua susceptible de ser aprovechada como abastecimiento o que ya es usada como abastecimiento de agua potable, lo cual representaría un costo mayor que el que se pudiera ahorrar en esta fase de un estudio para relleno sanitario, al contaminar dichos abastecimientos.

4.2.2 Ciclo Hidrológico.

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

- Precipitación. Tiene influencia en el diseño del relleno, ya que conociendo la precipitación del sitio seleccionado, ésta será parte importante en el diseño de los drenajes, el cálculo de lixiviado que se generará potencialmente, el cálculo de agua de escurrimiento, finalmente ayuda al diseño de las áreas de trabajo de la operación. En lo que respecta a la operación del relleno en tiempo de lluvia, puede hacer que el material de cubierta sea más difícil de esparcir y también dificultar su compactación. Otro problema es la dificultad, en un momento dado que pueda, ocasionar al tránsito de vehículos en los caminos de terracería construidos dentro del sitio.
- Escurrimiento. Es el agua de lluvia que no se infiltra o no se evapora, deslizando sobre la superficie y descargándose en las corrientes de agua. El agua de escurrimiento es una función de la intensidad y duración de la precipitación, la permeabilidad de la superficie del suelo, del área de la cuenca, de la profundidad del nivel de aguas freáticas y de la pendiente superficial).

El agua de escurrimiento tiene gran efecto en el diseño y la operación del relleno sanitario. Este factor es el de mayor consideración para el diseño de los drenajes exteriores e interiores del sitio, ya que de no ser controlado, cause bastantes problemas de transporte

dentro del sitio, durante la temporada de lluvias. El agua de escurrimiento puede generar lixiviado en el relleno al entrar el agua en contacto con el estrato de los desechos.

- Infiltración. Es aquella que no ha podido evaporarse o escurrir y se introduce en el suelo. Esta infiltración depende de varios factores: la naturaleza del suelo (ya que sobre un terreno impermeable toda el agua de lluvia escurre, y a la inversa, el escurrimiento se vuelve nulo en los terrenos muy permeables) y el clima (en las zonas áridas el agua de lluvia no penetra lo suficiente en el suelo para alimentar el manto freático, y son a menudo retomadas por evaporación).

La capacidad de infiltración debe tomarse en cuenta en el diseño de un relleno sanitario, ya que el material de cubierta deberá de ser semi-impermeable para minimizar el agua de lluvia que se pueda infiltrar a los estratos de desechos.

- Vientos. Son causa de problemas en la operación, ya que arrastra desechos ligeros susceptibles de ser levantados y arrastrados fuera del sitio de relleno. Por esta razón, es importante considerarlo tanto en el diseño, como en la operación; posiblemente se necesitará diseñar bardas móviles portátiles para controlar este problema.

También debe de considerarse la dirección de los vientos predominantes en el lugar, para evitar la posibilidad de que olores desagradables sean arrastrados a zonas habitacionales aledañas al sitio en construcción.

4.3 Preparación del Sitio.

La preparación del sitio es su acondicionamiento para las operaciones de vertido, y de la calidad de este acondicionamiento depende el éxito o el fracaso de la operación del relleno. La magnitud de las preparaciones de un determinado terreno depende de su naturaleza y situación, de la importancia de la operación y, por supuesto, de la cantidad de dinero disponible.

4.3.1 Desmonte.

En esto se incluye la remoción de la vegetación tales como hierbas, malezas, matorrales y árboles.

Antes de iniciar la preparación del sitio, quizás sea necesario quitar otros materiales, como piedras, muros y edificios o sus cimientos.

4.3.2 Bardoado.

El uso de bardas en el sitio donde se esta llevando a cabo la operación del relleno. Tiene como objetivos principales la protección y seguridad del sitio, controlar el acceso de los vehículos recolectores, evitar el material liviano susceptible de ser arrastrado por el viento y ocultar las operaciones a la vista de vecinos y transeúntes.

El bardoado asegura en gran medida la protección y seguridad del sitio ya que con ella se evita la entrada a personas ajenas a la operación del relleno ya sean personas sin interés en los desechos o aquellas personas que se dedican a las recolección de subproductos que son un problema para el eficiente desarrollo de la operación del relleno, limitando también la entrada de animales al sitio y el limite de la propiedad.

El control del acceso al sitio, ayuda a la eficiente supervisión del uso óptimo de los vehículos recolectores del sistema de limpia municipal y también para aquellos vehículos privados que deseen depositar ahí los desechos. Además de una eficiente operación del relleno, se podrá indicar a los vehículos donde deben depositar sus desechos en el frente de trabajo.

Una barrera de árboles en el perímetro del sitio ayudaría en forma eficiente a la estética del lugar y la reducción de ruidos y polvo provenientes de las operaciones.

4.3.3 Camino de acceso.

Los caminos permanentes serían provistos desde el sistema de caminos públicos hacia el relleno sanitario. Estos serán diseñados suponiendo por anticipado el volumen de tráfico. En general los caminos consisten en dos carriles y las pendientes no deben exceder a las limitaciones del equipo de recolección y pesado.

Los caminos temporales son normalmente usados para enviar los desechos al frente de trabajo desde el sistema de caminos permanentes, debido a que la localización del frente de trabajo está cambiando constantemente.

Los caminos de acceso mal diseñados son un problema en tiempo de lluvias y en tiempo seco a menudo tienen muchos hoyos que los hacen intransitables. Se recomienda que si menos de 25 viajes redondos son esperados, un suelo nivelado y compactado es suficiente; y si son más de 50 viajes redondos por día se justifica el uso de materiales aglutinantes, como cemento o asfalto.

4.3.4 Básculas.

En un relleno sanitario juega un papel muy importante, ya que con ellas se logra llevar el control de los desechos que entran a disposición final y también auxilia a la administración del sistema de recolección, ya que con el pesaje de los vehículos podremos conocer la eficiencia de la utilización del equipo, así como la del personal de los mismo. También es un eficiente auxiliar en la determinación de la vida útil sobrante del sitio.

Existen dos tipos de básculas en el mercado, portátiles y electrónicas. El tipo y tamaño de las mismas dependerá de la magnitud de la operación del relleno sanitario.

En la etapa del diseño deberemos de conocer el tipo de vehículos que se usarán y así podremos seleccionar la báscula más apropiada. Regularmente una capacidad de peso de 30 ton es más que suficiente para un relleno de gran magnitud que recibiría vehículos de transferencia. La plataforma de la báscula deberá ser lo largo necesario para pesar todos los ejes del vehículo más largo esperado en forma simultánea.

Las básculas deberán tener una exactitud del $\pm 1\%$ en cargas comprendidas hasta 14 ton. Todas estas básculas deberán ser verificadas y certificadas como una medida de seguridad y control.

4.3.5 Material de recubrimiento.

Hay que emplear un material adecuado inerte y granuloso para recubrir los residuos comprimidos en el tajo de trabajo y en las superficies superiores de los rellenos. Este material de recubrimiento impide que el viento arrastre y disperse los residuos, ayuda a eliminar olores, ayuda a evitar que el relleno sea invadido por insectos y/o roedores y disminuye el peligro de incendios separando los residuos en capas aisladas evitando de este modo que se propaguen los incendios internos que se puedan producir. El recubrimiento apisonado le da firmeza al relleno y facilita la circulación de vehículos por encima.

Debe usarse tierra limpia o su equivalente, que debe estar relativamente exenta de materias orgánicas, raíces de árboles, ramas, piedras de diámetro superior a los 15 cm y materiales de construcción voluminosos, y su contenido de arcilla debe ser pequeño. La tierra que contiene poca arcilla puede impedir la formación de cenegales, evitar que los equipos se queden atascados en tiempo lluvioso y hacer mínima la formación de grietas en el recubrimiento, pues a través de estas se permiten el acceso de insectos y roedores a los residuos enterrados y puede permitirse el escape de gases mal olientes.

La cantidad de materiales de recubrimiento se expresa usualmente como una proporción del volumen de este material al volumen de residuos comprimidos. Por ejemplo, la proporción 1:4 indica que sea utilizado un metro cúbico de material de recubrimiento por cada metro cúbico de residuos compactados, aunque esto no quiere decir que los residuos solamente ocupen el 80% del espacio. La producción de materiales de recubrimiento varía con el tipo y situación del relleno y el uso final a que se le destina. La consideración más importante, la salud pública exige que sobre la superficie superior de cada nivel de residuos se coloque una capa apisonada de material de recubrimiento de por lo menos 15 cm y que además, al final de cada período de trabajo, generalmente una vez al día, se recubran todos los residuos que quedan expuestos y con más frecuencia si fuese necesario. El material de recubrimiento generalmente se extiende con una explanadora, una empujadora de almeja o una excavadora acarreadora sobre los residuos previamente apisonados de manera que constituya una capa uniforme.

4.3.6 Oficinas y almacenes.

Aunque la mayoría de los trabajadores de un relleno laboran en el sitio donde se está llevando a cabo la operación del mismo, es de importancia vital el de proveer al sitio instalaciones adecuadas para el personal. Estas instalaciones deberán tener, como mínimo, oficinas, cuarto del basculista, baños, vestidores y comedor.

Es necesario contemplar la construcción de locales para el almacenamiento del equipo pesado utilizado en el relleno, cuando no sea hora de operación y cuando se necesite mantenimiento preventivo o correctivo para facilitar las operaciones del personal de mantenimiento.

4.3.7 Monitoreo.

Este nos dará a conocer las posibles alteraciones que puedan sufrir las aguas subterráneas en el transcurso del tiempo.

El sistema de monitoreo deberá contar con un mínimo de dos pozos de muestreo, que deberán ser situados en la dirección del flujo subterráneo, uno colocado corriente arriba del relleno y otro dentro del sitio del relleno.

Estos pozos nos darán las facilidades para tomar muestras de aguas subterráneas, las cuales serán analizadas física, química y bacteriológicamente, con el fin de conocer en un tiempo determinado el efecto negativo que pudiera causar una falla en el diseño de tal modo que se infiltrará el lixiviado hasta el agua subterránea.

4.4 Descripción de los métodos de relleno sanitario.

4.4.1 Método de trinchera.

Es utilizado normalmente donde el nivel de aguas freáticas no es muy alto, las pendientes del sitio son suaves y las características del suelo son tales, que pueden ser excavadas utilizando equipos normales de movimiento de tierra.

En este sistema la operación consiste en depositar los desechos en la base de un trinchera, donde son esparcidos y compactados en capas hasta formar un celda, para después ser cubierta con el material excavado de la trinchera esparciéndolo y compactándolo sobre la celda de desechos ya elaborada.

Los suelos que tengan características cohesivas, tales como sedimentos de arcilla, son recomendables para la construcción de trincheras debido a que las paredes de las mismas podrían ser casi verticales y así las trincheras pueden ser construidas en espacios reducidos y pueden estar muy cerca una de otra.

Las trincheras deben estar alineadas perpendicularmente al viento dominante, de tal manera que reduzcan las cantidades de desechos susceptibles de ser arrastrados por éste. Un extremo de la trinchera debe estar ligeramente inclinado para favorecer el drenaje de lixiviado generado.

La trinchera debe ser tan profunda como la tierra y sus condiciones lo permitan, y la anchura deberá ser al menos dos veces el ancho máximo del equipo utilizado.

En el proceso de excavación las retroexcavadoras y las dragalinas son ampliamente utilizadas sobre los tractores de orugas. Sin embargo cuando se trata de esparcir, compactar y cubrir, los bulldozers montados en orugas son mejor usados para tal fin.

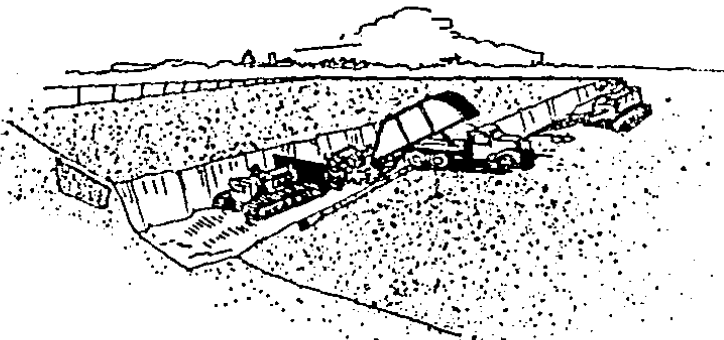


FIG. 3.6
METODO DE TRINCHERA.

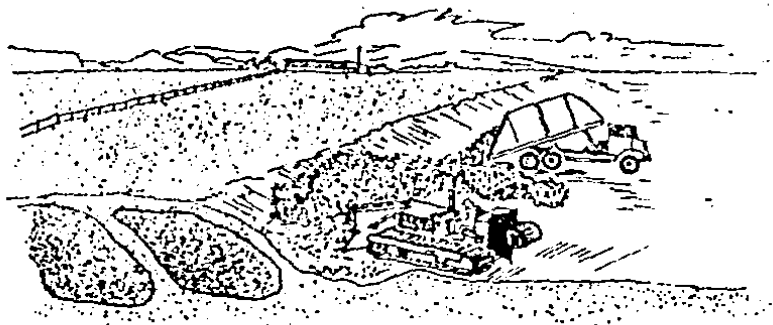


FIG. 3.7
METODO DE AREA.

4.4.2 Método de Área.

Este método prácticamente se puede utilizar en cualquier terreno disponible, consiste en depositar los desechos en la base del relleno sanitario, luego se esparcen y se compactan de manera que se forme una celda para después cubrirlos con tierra. De esta forma se inicia la construcción de celdas en un extremo del Área a rellenas y se avanza hasta terminar en el otro extremo, siguiendo un plan de operación predeterminado.

Para que cumpla con la condición de ser relleno sanitario, al finalizar el trabajo diario se deben cubrir las celdas terminadas y así eliminar el problema que puede causar la expansión de los desechos ya compactados.

Los equipos comunemente usados por este método son los tractores sobre orugas para el extendido y compactado de los desechos, la motoescropa para transportar y depositar el material de cubierta sobre las celdas terminadas y las motoniveladoras para darle la pendiente final al sitio donde se lleva a cabo el relleno sanitario.

4.4.3 Método combinado.

En algunos casos especiales cuando las condiciones del suelo son propicias, se puede llevar a cabo el relleno usando una combinación de los dos métodos antes descritos.

Existen combinaciones tales como el de iniciar por el método de trinchera y posteriormente cuando el área ha sido completada, se continúa con el método de área en la parte superior. El otro es el conocido como de rampa que consiste en iniciar con el método de área y excavando el material para la cubierta en donde termina la celda ya construida. Usando este método se ahorra el transporte de material de cubierta y una parte de los desechos son depositados debajo de la superficie original, lo cual aumenta la vida útil del sitio.

4.5 Drenajes.

Sin lugar a dudas el diseño correcto del sistema de drenajes tanto exteriores como interiores, resolverá uno de los problemas más críticos (agua de escurrimiento) en la operación de un relleno sanitario.

El agua de escurrimiento es motivo de preocupación en la operación de un relleno sanitario por los potenciales problemas de contaminación que puede presentarse al estar el agua de escurrimiento en contacto con los estratos de desechos sólidos ya que al efectuarse dicho contacto, se genera al paso del agua entre los desechos un percolado

conocido con el nombre de lixiviado, el cual presenta características altamente contaminantes a los cursos de agua superficial y al flujo de agua subterránea.

Además del problema anterior, el agua de escurrimiento sin control, es causa de erosión de la tierra. Dicha erosión causa efectos adversos a la operación del relleno, ya que al llevarse la corriente el material de cubierta, los desechos quedarán al aire libre con los consiguientes efectos contaminantes sobre el medio ambiente.

Con el diseño de los sistemas de drenaje de un relleno debemos solucionar los siguientes problemas: el agua de escurrimiento fuera del sitio de operación, dentro del sitio de operación, en el sitio terminado y el lixiviado en el sitio de operación.

- Diseño de los drenajes exteriores, para el diseño de este drenaje se deben de tomar en cuenta los siguientes factores: el área de aportación al sitio, el tipo de suelo superficial y la intensidad de lluvia.

El primer paso en el diseño es el de minimizar el agua de escurrimiento que entra al sitio, por medio de obras de contención y desvío tales como canales, bordos, barreras impermeables y otros.

- Diseño de los drenajes interiores, debido a que la precipitación es potencialmente uniforme dentro y fuera del sitio de operación, es necesario la creación de un sistema para desalojar rápidamente el agua que se precipita dentro del sitio.

Como la operación de un relleno obedece a un plan predeterminado en el cual se divide el sitio en áreas de trabajo, el diseño del sistema de drenajes se limita a controlar que el agua de escurrimiento dentro del sitio no llegue al área de trabajo, por lo que simplifica el diseño.

El procedimiento para el mencionado control, es realizado de la misma manera que el utilizado para los drenajes exteriores; el cual consiste en el diseño de canales de desvío de agua superficial, susceptible de llegar al sitio donde se llevan a cabo las operaciones. Este tipo de canales utilizados en los drenajes interiores difieren de los usados exteriormente, ya que son llenados con grava con el fin de que no interfieran con el paso de los vehículos de recolección.

- Drenaje del sitio terminado, de acuerdo con los propósitos de uso final del sitio, éste deberá tener una pendiente mínima para reducir la cantidad de agua de lluvia que permanezca o se infiltre en el terreno, y también con el objeto de evitar la erosión. Esta pendiente se logra con

el uso de motoconformadoras, las cuales afinan la pendiente dejada cuando se construyeron las celdas.

- Drenaje del lixiviado. Como se menciono anteriormente, el sitio se divide en áreas de trabajo para la operación. Debido a que es imposible evitar que parte de la precipitación caiga sobre el Area de trabajo, es factible la generación del lixiviado, el cual debe ser colectado mediante drenajes.

Al iniciar las operaciones del relleno se tiene que excavar un canal el cual se llena de grava en el extremo del área de trabajo y sobre el se inician las operaciones de la construcción de la primera celda. Después de que se cambia de Área de trabajo ya no es necesario el construir nuevos canales ya que los usados para los drenajes interiores al cambiar el Área de trabajo quedan inservibles para ese fin y llenandolos de grava se acondicionan para drenar lixiviado y se continúa el trabajo sobre ellos.

Ahora, el lixiviado colectado en cárcamos puede ser tratado en un planta construida para tal fin o almacenarlos para que en el tiempo que la evaporación es mayor que la precipitación, sea bombeado y regado en la superficie del relleno sanitario.

4.6 Diseño de la interfase relleno sanitario - nivel de aguas freáticas.

4.6.1 Cálculo de la interfase.

El primero y quizá uno de los más importantes de los elementos en el proceso del diseño de un relleno, es el cálculo de la interfase entre la base del relleno y el nivel de aguas freáticas. Con esta información se determina el espesor de suelo necesario para renovar el lixiviado que pudiera infiltrarse.

El cálculo de la interfase está ligado con el lixiviado producido y con los principales mecanismos de renovación, los cuales son:

- Filtración. Este mecanismo consiste en la retención física por parte del suelo, de las partículas suspendidas que el lixiviado contiene. En este caso la capa de suelo que existe entre la base del relleno y el nivel de aguas freáticas simplemente actúa como un filtro natural.

Los sólidos retenidos de esta manera, los cuales son de naturaleza orgánica e inorgánica, los orgánicos son atacados y convertidos en otros productos más simples

por la acción de la población de microorganismos existentes en el suelo, los inorgánicos son retenidos y en algunos casos cambian sus características por acción química. La limitante que presenta este mecanismo de filtración es que solo retiene partículas suspendidas de cierto tamaño dependiendo de la porosidad del suelo.

- Absorción. Este mecanismo funciona reteniendo la humedad y varios elementos contenidos en el lixiviado, el tiempo suficiente para que un proceso químico y bacteriológico se presente. El problema es que el suelo necesita de la presencia de productos químicos y los microorganismos necesarios para que efectúen la reacción de los elementos contenidos en el lixiviado de otra manera no se lleva a cabo su degradación, o conversión química.
- Adsorción. Es el mecanismo que ocurre cuando una molécula cargada (llamada ión) del lixiviado pasa sobre una partícula de suelo que contiene una carga contraria a la cual se adhiere.

En la renovación del lixiviado, la adsorción juega un papel muy importante, ya que un suelo que contiene características de intercambio catiónico tiene un gran potencial de retención de los contaminantes presentes en el lixiviado.

- Precipitación química. La renovación por este mecanismo es dependiente del potencial de hidrógeno (pH) del suelo, ya que entre más alto sea su valor, mayor va a ser la tendencia de que la precipitación ocurra.
- Acción bacteriológica. Básicamente la degradación bacteriológica actúa acompañada de los mecanismos antes descritos, cuando se presenta material orgánico.

De acuerdo a lo dicho anteriormente, el mecanismo que principalmente realiza la renovación de lixiviado es el de adsorción. Entonces, las principales características que se tomarán en cuenta son la capacidad de intercambio catiónico del suelo y del lixiviado, así como la densidad del suelo.

4.6.2 Cálculo de la adsorción de los desechos.

Considerando que el lixiviado producido por un relleno sanitario es uno de los problemas primordiales a solucionar, necesitamos conocer la cantidad de lixiviado se va a generar y cuando se presentará el mismo.

La capacidad de adsorción de los desechos es conocida como capacidad del campo del relleno y es cuando los desechos sólidos se han saturado por el agua de infiltración y se inicia la formación de lixiviado.

Hay cuando menos dos factores adicionales los cuales actúan en contra de la lixiviación, ellos pueden ser considerados como factores de seguridad y son los siguientes: humedad perdida debida a la acción bioquímica y la capacidad de adsorción adicional del material de cubierta.

4.6.3 Cálculo y características del lixiviado.

El agua que se ha infiltrado en el relleno y que se percoló por el estrato de desechos sólidos es conocida con el nombre de lixiviado. Este lixiviado es de características altamente contaminantes por lo que es necesario su debido control y tratamiento. Un primer objetivo de un relleno sanitario es el de minimizar la cantidad de agua que se infiltra a través del material de cubierta y se percola en los desechos para así minimizar la cantidad de lixiviado que se pudiera generar.

Sin embargo es inevitable que algo del agua de lluvia se quede en los desechos cuando se está llevando a cabo la operación de un relleno. Inicialmente esta agua es absorbida por el material componente de los desechos sólidos tal como papel, cartón, trapo, etc. Esta capacidad de absorción es alcanzada cuando una percolación adicional tiene el efecto de desplazar la misma cantidad de humedad del relleno. Esta humedad es lo que nosotros conocemos como lixiviado. Este, que continua su movimiento descendente a través de las otras capas del relleno hasta que se inicia la percolación en el suelo base.

El lixiviado generado dependerá de la precipitación que se presenta en cada zona, del material del desecho que se este disponiendo, de la eficiencia de la operación y de la calidad del material de cubierta.

Las características del lixiviado están estrechamente relacionadas con los componentes de los desechos dispuestos. En casi todos los lixiviados, se han encontrado altos porcentajes de los siguientes constituyentes: fierro, cloruros, nitrógeno, fosfatos, sulfatos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y trazas de metales pesados.

El principal método de control de lixiviado es sin duda la limitación de la infiltración de agua de lluvia en el relleno, mediante un buen diseño de los drenajes y una selección adecuada del material de cubierta. También como factor de seguridad la capacidad de renovación natural del suelo en la base del relleno sanitario.

4.7 Control de gases.

4.7.1 Tipo de gases.

Los desechos sólidos depositados en un relleno son degradados a través del tiempo mediante actividades químicas y biológicas para producir líquidos, sólidos y gases.

Algunos factores que afectan la degradación de los desechos son los siguientes: carácter heterogéneo de los desechos, las propiedades químicas, físicas y bacteriológicas de los desechos, la disponibilidad de oxígeno y humedad dentro del relleno, la temperatura y la población microbiana.

La actividad biológica en un relleno sigue un patrón definido. Así los desechos sólidos inicialmente son degradados por organismos aerobios hasta que casi todo el oxígeno es utilizado, para después predominar los microorganismos anaerobios. En la etapa aerobia, los productos característicos son bióxido de carbono, agua y nitratos. Y los productos típicos de la descomposición anaerobia son: metano, bióxido de carbono, agua, ácidos orgánicos, nitrógeno, amoníaco, fierro, manganeso e hidrógeno. Sin embargo los gases que se producen en mayor cantidad son el metano y el bióxido de carbono. Estos gases son importantes de considerar cuando se evalúan los efectos en el medio ambiente, ya que el metano puede explotar bajo ciertas condiciones, y el bióxido de carbono puede disolverse formando ácido carbónico. Otro gas también formado anaeróbicamente es el ácido sulfhídrico que presenta condiciones agresivas de olor hacia la población.

4.7.2 Métodos de control

Una parte importante en el diseño del relleno es el control del movimiento de los gases de descomposición principalmente el metano y bióxido de carbono.

Existen dos métodos principales para su control; el primero mediante materiales permeables y el segundo por medio de materiales impermeables.

- Métodos permeables, el movimiento lateral de los gases puede ser controlado con el uso de materiales que bajo cualquier circunstancia son más permeables que el suelo circunvecino. Se utilizan ventilas de grava o zanjas rellenas de grava, las zanjas deben ser un poco más profundas que el relleno para asegurar que con ellas se intercepte todo el flujo de gas lateral. La superficie de las zanjas de grava deben estar libres de vegetación o tierra ya que estos retienen humedad y dificultan la ventilación.

Otro método permeable consiste en la colocación de tubos perforados en la cubierta final, teniendo en los laterales material impermeable.

- Métodos impermeables, el movimiento de los gases puede ser controlado con el uso de materiales que son más impermeables que los utilizados en la cubierta final.

El tipo más común es la utilización de arcilla compactada. Esta arcilla puede ser colocada en la base y/o en zanjas en los laterales del relleno.

4.8 Vida útil.

4.8.1 Volumen de desechos.

Parte importante del diseño de un relleno es conocer la vida útil del mismo. Para ello es fundamental conocer el volumen de los desechos que se van a disponer. Una vez conocida esta información se podrá calcular el material necesario para su cubierta y así se facilitará el cálculo de la vida útil del relleno.

Mediante la siguiente fórmula se podrá generalizar el procedimiento del cálculo del volumen de desechos que vamos a disponer:

$$V = \frac{P + G + D}{Dr}$$

donde:

- V = volumen de desechos a disponer (m³)
- P = población (hab.)
- G = generación (kg/hab.-día)
- D = otros desechos (kg)
- Dr = densidad de los desechos ya compactados (kg/m³)

4.8.2 Volúmenes de corte y relleno.

A partir de un plano topográfico de curvas de nivel es posible obtener secciones de perfiles topográficos donde se podrá establecer la línea de máxima excavación (LME) y la pendiente final del sitio, obteniéndose con eso la facilidad de calcular el material de cubierta disponible en el sitio, así como el volumen de desechos que podrá aceptar el relleno y con esto calcular la vida útil del sitio.

Existen dos métodos simples para elaborar los cálculos:

- Planimétrico, mediante el uso de un planímetro se podrá

obtener perfectamente las áreas de cada una de las secciones, siempre y cuando el instrumento este calibrado perfectamente y sea manejado con cuidado. Con estas áreas será posible realizar los cálculos de volúmenes en cada avance del frente de trabajo para determinar después la vida útil del sitio.

- Manual, consiste en trazar las secciones en papel milimétrico con el objeto de realizar en él, los trazos de como va a quedar la base y el final del relleno sanitario; se cuenta el número de cuadros dentro de cada línea y se pueden determinar las áreas factibles a ser ocupadas.

4.8.3 Cálculo de la vida útil.

Esto se realiza con el fin de conocer el tiempo de uso que se le puede dar a un sitio, esto es posible utilizando la siguiente fórmula:

$$L = V - ((CF \pm H) + (C \pm CD \pm H) + [(N - 1) CI \pm H])$$

donde:

- L = volumen disponible para los desechos (m³)
- CF = cubierta final (m)
- H = superficie del sitio (m²)
- C = número de celdas por hectárea
- CD = cubierta diaria por celda (m)
- CI = cubierta intermedia (m)
- N = número de niveles del relleno
- V = volumen disponible en el sitio (m³)

$$VU = \frac{L}{VD}$$

donde:

- VU = vida útil del relleno
- L = volumen disponible para desechos
- VD = volumen de desechos a disponer por año.

4.9 Uso final del sitio.

El diseño del uso final del sitio deberá contener y presentar en un plano las actividades que podrá desarrollarse sobre el mismo. Regularmente los rellenos sanitarios terminados sirven como áreas recreativas que incluyen parques, canchas de fútbol o tenis, campos de golf y algunas actividades de pista y campo.

CAPITULO IV ANALISIS Y SELECCION DE ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS

Como se observó en el capítulo anterior, el reciclaje y el composteo por un lado, y la incineración y el relleno sanitario por el otro pertenecen a dos grupos distintos de tecnologías, en cuanto a su objetivo central.

El primer grupo trata la basura para reincorporarla a los procesos económicos sin pretender resolver la totalidad de su impacto ambiental; y el segundo resuelve el problema ambiental como tal, sin reincorporar a los desechos directamente en los procesos económicos. No obstante, el propósito que persigue cada grupo es compatible de una u otra forma con diversos objetivos:

- La eliminación del problema de desechos sólidos, como protección del ambiente.
- El deterioro de la balanza de pagos, que se deriva de la posible importación de equipo que puede hacerse necesaria ante la escasez del mercado nacional de tecnologías de tratamiento y disposición final.
- Contribución a la alimentación en la medida en que existen tecnologías que ayudan a incrementar la producción alimentaria.
- Cantidad de recursos, que evalúa el equilibrio que guardan entre sí la mano de obra, el capital y la tierra urbana como recursos estratégicos del desarrollo.
- Generación de empleo, como fuente de trabajo para los penepederos y otros sectores.
- Contribución a la producción nacional, en la optimización de los recursos nacionales a través de la reutilización de materia recuperada de la basura.

En la siguiente tabla se pueden apreciar las cualidades de cada tecnología, en la que se indica cuales de ellas tienen las características que las hacen más eficientes técnica y socioeconómicamente.

En efecto el reciclaje y el composteo de poca basura, resultan más económicos y tienen un importante impacto en la incorporación productiva en la fuerza de trabajo.

Por otro lado la alternativa ambiental más viable es la incineración aún cuando su impacto económico es el más alto. En cuanto al relleno sanitario aparenta representar la alternativa más completa, cuando se cumple el requisito de disponibilidad de tierra.

Tabla 1

CARACTERÍSTICAS DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS

CRITERIO	RECICLAJE	COMPOSTEO	INCINERAC.	RELLENO
Eliminación de desechos sólidos	20%	50%	90%	100%
Deterioro de la balanza de pagos	--	40%	42%	--
Total de proyecto (dóls)	(1)	1,100,000 (2)	38,000,000 (3)	s/d (4)
Contribución a la alimentación	ninguna	mediano plazo	ninguna	largo plazo
Cantidad de recursos	mano de obra	mano obra capital	capital	tierra
Generación de empleo (5)	variable	282	72	60
Contribución a la contaminación	ninguna	olores	baja (6)	ninguna (7)

(1) Depende de donde y quien realice el reciclaje.

(2) Estimación realizada en base al "Estudio sobre la Recolección y Tratamiento de basuras en la zona urbana del valle de México". DIMSA pag. Si caso IV. Capacidad 150/ton/día.

(3) Estimación realizada por WIDMER + ERNST. Capacidad 2400 ton/día. 1981.

(4) Los costos varían específicamente según el proyecto.

(5) Número de empleos generados.

(6) Baja siempre y cuando se instalen purificadores y disposición final de cenizas.

(7) Ninguna si se opera el relleno correctamente

1. Características de los métodos.

1.1 Tecnologías de tratamiento.

1.1.1 Reciclaje.

Su aplicación siempre será optativa y complementaria a otras tecnologías dado que no contribuye a la disposición final de los desechos.

Se deberá integrar fuerza de trabajo en las bandas de selección para mantener la importante aportación en la generación de empleo.

La recuperación de subproductos dependerá de la rentabilidad de cada uno de ellos.

1.1.2 Composteo.

Su aplicación será complementada con otras tecnologías para compensar su adecuada eficiencia, deberá establecerse con las variaciones que incorporen más o menos de obra en los procesos.

Se obtiene un producto final, que posee un valor económico y puede venderse, lo que supone ingresos para la planta. Aunado a esto el terreno para la instalación puede ser relativamente pequeño.

Se deberá promover cuando convenga al sistema alimentario y se procurará aprovechar la tecnología mexicana de composteo ya existente.

1.1.3 Incineración.

Reduce las necesidades de terrenos, mediante una instalación relativamente pequeña, lo que permite situar la instalación estratégicamente para reducir al mínimo los gastos de recolección.

Por otro lado los gastos que origina el cumplimiento de las normas de protección ambiental que son elevados y además no puede aplicarse más que a un limitado sector de la producción total de residuos y deja una cantidad considerable de cenizas que se deben eliminar.

Deberá preferirse para el tratamiento de desechos peligrosos como son los de hospitales y aeropuertos.

Otro punto importante a considerar son los gastos de inversión, que contienen un porcentaje alto de importación de tecnología y equipo extranjero.

Deberá combinarse con tecnologías que sean intensivas en mano de obra para disminuir su impacto en el desempleo de los pepenadores.

1.2 Tecnología de disposición final.

1.2.1 Relleno sanitario.

Exigen una inversión de capital relativamente pequeña, pueden volver cultivables tierras de otro modo inaprovechables, admiten la mayoría de clases de residuos, no producen prácticamente ninguna contaminación del aire y permiten una eliminación final y completa de los residuos.

Maneja un gran volumen de desechos y por consiguiente presenta una importante necesidad de terrenos, si se tiene en cuenta que el número de terrenos disponibles en cualquier comunidad es limitado.

Se usará siempre en todos los casos, a la intensidad de saturación que se requiera, siendo además la única tecnología independiente de las demás.

2. Bases para la selección.

La selección de los mejores métodos de tratamiento de residuos para una ciudad es de gran importancia. Implica muchos factores, todos los cuales se tienen que considerar cuidadosamente, como son:

- Cantidad de basura generada.
- Riqueza de basura.
- Costos de operación de los sistemas de recolección.
- Existencia de recursos de inversión para sistemas de recolección.
- Disponibilidad de fuerza de trabajo para tratamiento y disposición final.
- Disponibilidad del suelo en la periferia y en el centro para establecer la tecnología.
- Existencia de recursos de inversión para establecer tecnologías de tratamiento y disposición final.
- Capacidad del medio ambiente local para absorber la contaminación.
- Importancia del mercado de subproductos.
- Importancia del mercado de composta.
- Importancia del requerimiento de energía eléctrica.
- Necesidad de rehabilitar terrenos.
- Importancia de requerimiento de gas natural.

Debido a la diversidad de características y complejidad de la ciudad de México, además de que una sola tecnología no puede cumplir con los criterios normativos anteriormente descritos, se indica la necesidad de establecer una combinación entre varias de ellas que satisfagan los requerimientos locales específicos para el manejo, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos.

3. Paquete tecnológico.

En base a la evaluación de las alternativas tecnológicas descritas anteriormente y los datos obtenidos del segundo capítulo, se ha diseñado un paquete tecnológico que permite combinar aquellas variaciones de las alternativas que mejor se adaptan a las condiciones principales de la ciudad de México.

ORGANIZACION DEL PAQUETE TECNOLÓGICO.

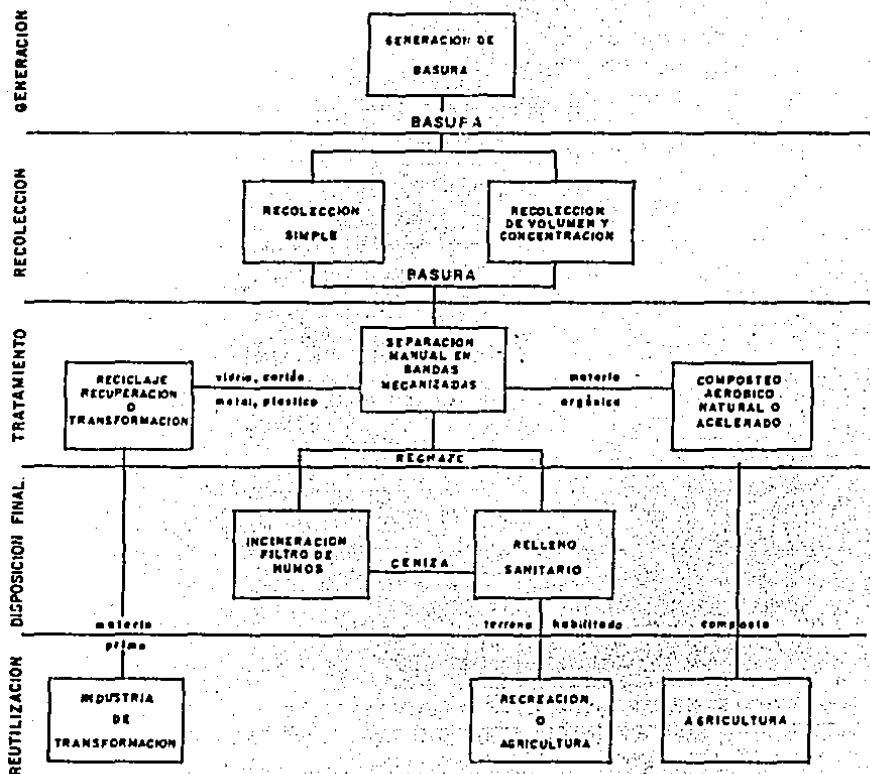


FIG. 4.1

El paquete comprende los siguientes componentes:

- La recolección simple (en camiones), indispensable ya sea con o sin reducción del volumen y/o con etapas intermedias de concentración de la basura en estaciones de transferencia.
- La separación, opcional para unidades habitacionales y obligatorio ya sea manual o sobre bandas mecánicas, en las estaciones de transferencia, en las plantas de tratamiento o en los sitios donde se le dará disposición final.
- El composteo, ya que su producto final tiene un valor y su venta genera ingresos suplementarios para el funcionamiento de la planta. El terreno para la instalación puede ser relativamente pequeño, lo que unido al alto porcentaje de materia orgánica que contienen los desechos de la ciudad de México debe permitir situarlo ventajosamente, respecto al sistema de recolección.
- El reciclaje de subproductos, que puede consistir en su simple recuperación a partir de la separación manual o incluir su reprocesamiento a insumos diversos en una planta especializada (que puede estar ligada con la del composteo). En casos excepcionales, esta planta podrá obtener productos específicos derivados.
- Incineración, posee una instalación relativamente pequeña, lo cual permite situarla estratégicamente para reducir al mínimo los gastos de recolección. Por otro lado, los gastos que origina el cumplimiento de las normas de protección ambiental son elevados, y además, éste no es un método completo de tratamiento, ya que solo se aplica a un limitado sector de la producción total de residuos, específicamente para desechos hospitalarios y de aeropuertos.

A la incineración se le anexará siempre equipo para la purificación de humos.

- El relleno sanitario, es imprescindible para la totalidad de los desechos o de la fracción rechazada por otros procesos. Los rellenos correctamente proyectados y operados ofrecen varias ventajas: son económicos y flexibles, exigen una inversión de capital relativamente pequeña, pueden volver cultivables tierras de otro modo inaprovechables, admiten la mayoría de las clases de residuos, no producen prácticamente ninguna contaminación del aire y permiten una eliminación final y completa de los residuos; además de requerir un mínimo de tecnología de importación.

Además las distancias a que hay que transportar los desechos son grandes en comparación con otros métodos y es fácil que surjan problemas operativos por inclemencias climatológicas.

Podrá incluirse la reducción mecánica de volumen mediante la trituración y/o se permitirá la papeña.

3.1 Características del paquete tecnológico.

Se considera que la recolección en camiones y el relleno sanitario son los componentes mínimos e imprescindibles para el sistema de manejo de desechos en la ciudad de México. Todos los demás componentes se entienden como etapas intermedias opcionales, que se incluyen o excluyen en función de las condiciones específicas. La inclusión de una u otra de las etapas intermedias se recomienda, no solo por la recuperación de recursos que ellas implican, si no por las amplias posibilidades de reducción del volumen de los desechos que deba ser movilizadas y enterradas en un relleno sanitario.

Los diversos componentes del paquete pueden operar con una interdependencia que se reduce a pocos puntos, sobre todo los componentes correspondientes a las etapas intermedias. El carácter opcional de estos componentes permite adicionarlos o sustraerlos con poca afectación al resto del sistema. Los puntos de interdependencia son:

- La separación es necesaria para aplicar las tecnologías de reciclaje, composteo y en menor medida para la incineración. La separación puede constituirse como un anexo a las plantas dedicadas a estas tecnologías.
- Para que la incineración opere eficientemente, debe disponer de los mismos componentes de los desechos que el reciclaje y el composteo (8), por lo que la hace una tecnología poco combinable con éstas. Por ello sólo es complementaria a tales tecnologías cuando el paquete en su conjunto maneja grandes cantidades de desechos (superiores a 500 ton/día) por lo que solo se recomienda para desechos hospitalarios y de aeropuertos, que son desechos altamente peligrosos en su manejo.
- La relativa opcionalidad de las etapas intermedias permite su ubicación urbana dispersa. En efecto si las tecnologías se concentran espacialmente en una sola planta los costos generales de recolección de los desechos y la movilización de los recursos incinerados, se incrementan. Además la dispersión se justifica en la medida en que cada tecnología requiere distinta ubicación (céntrica o periférica de la ciudad) por los requerimientos diferentes de terreno, impacto ambiental y proximidad al mercado de recursos recuperados.

(8) Los subproductos, particularmente el papel, el plástico, el cartón y la materia orgánica resultan el material más adecuado para la combustión debido a su alto poder calorífico.

Por otro lado la ubicación dispersa permite expandir o contrer el paquete tecnológico, es decir suprimiendo o agregando plantas cuando las condiciones locales lo requieran, ya que éstas son muy cambiantes, por la dinámica demográfica o por el mercado de los recursos recuperados, así como la cantidad de recursos económicos disponibles.

Dentro de las etapas intermedias, se prefieren aquellas que implican costos iniciales y de operación más bajos, así como la recuperación de costos más elevados, es decir se prefiere el composteo y el reciclaje de desechos, dejando la incineración para aquellos casos en los que se cuente con los recursos financieros y presupuestales suficientes, que el volumen y calidad de los desechos manejados lo justifique, como sería el caso de los desechos tóxicos.

Además de la flexibilidad de agregar o quitar componentes, el paquete permite el desarrollo en dos sentidos, en cuanto a sofisticación y capacidad. Por un lado, el paquete puede crecer agregando procesos más complejos en el reciclaje, el composteo y la incineración mediante el aumento lineal y acumulativo de equipo y operarios, para mejorar la calidad o aumentar el tipo de los recursos recuperados. Por el otro, el paquete puede crecer modularmente su capacidad, dada la indivisibilidad del equipo (a través de la baja capacidad de líneas de procesamiento) y de la mano de obra (a través de la posibilidad de aumentar turnos de operación a una misma línea); esto permite reducir los costos de sustitución de maquinaria, así como mantener un ritmo creciente de las plantas según los incrementos de generación de desechos de la localidad.

3.2 Aplicación del paquete tecnológico.

Las diversas modalidades con que puede establecerse el paquete tecnológico son múltiples. Enseguida se representa una modalidad básica que incluye el relleno sanitario y el reciclaje, siendo el resto de las tecnologías, complementarias a esta modalidad, satisfaciendo así las necesidades que la ciudad de México requiere.

- Modalidad "Reciclaje/Relleno Sanitario".

Consiste en la recolección organizada en torno a estaciones de transferencia, donde se efectúa la selección manual o en bandas mecanizadas para su comercialización sin tratamiento adicional, y de donde parte el resto del desecho para el relleno sanitario, los cuales podrán rehabilitarse para agricultura o recreación.

Su aplicación se recomienda en localidades con generación de desechos creciente en volumen y riqueza y con abundante mano de obra (generando empleos para los pepenadores).

- Tecnologías complementarias.

La aplicación de las diferentes modalidades del paquete tecnológico podrían extenderse de acuerdo a las necesidades y recursos que desarrolle la ciudad de México.

La modalidad con énfasis en composteo, podría implementarse si se dieran las siguientes condiciones: que el contenido de materia orgánica sea alto (basura pobre), medianos recursos locales para la inversión, costos de recolección medianos) y la correcta comercialización de la composta, ya sea que se concesione o lo realice el D.D.F., para que la planta sea autofinanciable en lo posible.

Consistiría en la simple recolección de basura, que sería transportada a la planta donde la fracción orgánica es separada y composteada. Los rechazos serían llevados al relleno sanitario.

Esta modalidad podría ser combinada con reciclaje en donde en la misma planta se recuperarían los materiales reciclables y la materia orgánica se procesaría.

Esta combinación, sería recomendada en localidades con basura de riqueza intermedia, actividad de pepena, recursos de inversión intermedios y suelo apto para relleno sanitario.

La modalidad con énfasis en incineración, se recomendaría para localidades con basuras ricas, altos costos de inversión, escasez de suelo apto para relleno y contaminación atmosférica.

Consistiría en la recolección con camiones que llevarían la basura a plantas de incineración dentro del perímetro urbano, donde se recuperaría la energía generada en la combustión; la cual podría utilizarse para el funcionamiento de la planta y/o venderla. Las escorias serían llevadas a un relleno sanitario.

Dentro de la modalidad de relleno sanitario, podría obtenerse gas natural, que sería vendido a particulares o al estado. Siendo esta modalidad recomendable para localidades con basuras pobres, medianos costos de inversión y suficiente suelo apto para relleno.

4. Mercado tecnológico.

En esta sección, se analiza el mercado tecnológico con el objeto de identificar a los principales oferentes de las cuatro tecnologías estudiadas.

El total de las empresas oferentes detectadas asciende a 27 principalmente concentrándose 18 en Europa (principalmente Suiza) 8 en Estados Unidos y una mexicana.

Estas empresas ofrecen una o varias tecnologías identificándose 12 que ofrecen reciclaje, 14 composteo, 12 incineración y 3 relleno sanitario. Aparte de ello varias empresas ofrecen tecnologías complementarias, 2 ofrecen equipo para compactación que apoya el relleno sanitario y el reciclaje (ya sea para reducir el volumen de los desechos por enterrarse o de los subproductos recuperados), 3 se dedican a la trituración, 4 se dedican a la recuperación de gas y 4 más se dedican a sofisticaciones en el reciclaje de los subproductos, como son la producción de paneles de construcción y la producción de combustibles sólidos derivados del desechos.

Dentro de las empresas analizadas, algunas destacan como las más importantes en función de su experiencia, antigüedad y desarrollo de una tecnología específica. En función de las tecnologías principales, estas son:

- Reciclaje. Testoran Flakt, De Bortoloneis, Worthington y Scraini Gschini. Las dos primeras presentan grandes avances en el sistema de reciclaje y a pesar sus técnicas se pueden integrar en forma progresiva ya que tienen una importante capacidad de adaptación. Por otro lado, Flakt ha instalado una de las plantas de reciclaje más grandes del mundo en Holanda.
- Composteo. Hasta el momento existen en el mercado internacional un sin número de empresas oferentes de esta tecnología, centro de las que se pueden considerar como más importantes: Puhler-Miag, con integración de varias tecnologías y en forma dominante en composteo; Worthington, Triga y Sobea con alta integración tecnológica; Voest y Gebruder con composteo como su tecnología dominante, Gds con bastante experiencia internacional y Dsm, la empresa con mayor número de instalaciones en el mundo (alrededor de 200). En el ámbito nacional, existe únicamente una organización llamada Equipo Industrial Técnico Administrativo para Plantas Procesadoras de Basura. Es una empresa de tamaño medio que, ha realizado proyectos importantes en ciudades como Guadalajara, Monterrey y Acapulco.
- Incineración. Las principales empresas a nivel internacional se ubican en Suiza y Alemania, siendo estas Martin, Von Roll y Widmer & Ernst. Martin ha realizado alrededor de 150

plantas; Von Roll cuenta con 140 plantas y finalmente Widmer & Ernst ha realizado en los últimos años gran parte de las plantas a nivel mundial.

- Relleno sanitario. Se conocen principalmente Browning Ferris Industries, cuya experiencia y operaciones comprenden Estados Unidos, Canadá y algunos países de América Latina, actúa además en todas las fases del sistema y está considerada como una de las corporaciones más grandes del mundo. A ella le sigue B.K.K., que también se especializa en esta técnica y presenta gran experiencia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es bueno insistir en la importancia del manejo de desechos, considerado muy frecuentemente como una función menor. La limpieza de una ciudad indica el grado de civilización de sus habitantes. Una ciudad limpia es una ciudad acogedora y sana.

El problema ha evolucionado en forma creciente en el curso de los últimos años, en función de los progresos de la técnica, de la puesta en marcha de nuevos productos de consumo y del crecimiento demográfico.

En nuestra época, en la que se debe tomar conciencia de la necesidad de proteger el medio ambiente, conviene adaptar la recolección, el tratamiento y la disposición final de los desechos, a los problemas planteados por la vida moderna, teniendo en cuenta los puntos esenciales siguientes:

- 1.- Crear una reglamentación eficaz y un control severo. Adoptar las medidas necesarias en todos los campos, educar y persuadir al público, éste se somete mucho mejor a una disciplina si comprende las razones y si se toma conciencia de sus responsabilidades.
- 2.- Dado que el sistema de recolección presenta una problemática muy compleja y extensiva, no se analizó con la profundidad requerida por lo que se recomienda hacer un estudio exhaustivo para encontrar posibles soluciones, así como de mejorar la calidad del personal y perfeccionar su educación.
- 3.- Actualmente consideramos al reciclaje como la técnica de tratamiento de mayor importancia, no solo porque el desecho tiene intrínsecamente un valor económico que debe ser reconocido, especialmente en países en vías de desarrollo, sino por la gran importancia que tiene el aspecto social ya que esta técnica tiene la posibilidad de sustituir maquinaria por mano de obra, pudiendo, generar empleos dignos para los peponadores, ya que estos forman parte de un gremio, el cual no podemos desatender y mucho menos desaparecer.
- 4.- Ya que los costos iniciales y de operación del composteo, se consideran como intermedios respecto a las otras tecnologías y tomando en cuenta la situación actual del país, se concluye, que solo debe operar la planta ya instalada en San Juan de Aragón tratando de aumentar su eficiencia con la correcta administración, organización y mantenimiento que la planta requiere.

Como se observó en el segundo capítulo esta planta no alcanza a cubrir las necesidades, que la delegación correspondiente demanda, por lo que se recomienda a mediano y largo plazo la implementación de nuevas plantas situadas estratégicamente.

En términos socioeconómicos, las variaciones del composteo permiten lograr un balance diverso entre capital y mano de obra, generando empleos y estimulando la inversión.

Desde el punto de vista de preservación ambiental contribuye a recuperar la materia orgánica del desperdicio general en los procesos alimentarios de la ciudad y permite compensar en parte la pérdida de humus que sufren los suelos y aumentar su fertilidad, impulsando así el sistema alimentario mexicano.

- 5.- En términos socioeconómicos, la incineración de desechos es una de las tecnologías más intensivas de capital y la sustituibilidad de maquinaria por mano de obra es comparativamente baja, por lo que únicamente recomendamos la utilización de las plantas ya instaladas, para la disposición de desechos peligrosos provenientes de hospitales y aeropuertos.

Se debe considerar a largo plazo que si la ciudad de México continúa con el mismo ritmo de crecimiento de población que ha llevado hasta ahora y por lo tanto de generación de desechos, se tendrá que observar la posibilidad de instalar nuevas plantas, como alternativas de solución.

- 6.- Se puede concluir que el relleno sanitario presenta en la actualidad la alternativa más económica, que cumple con los requisitos mínimos sanitarios que se exigen para preservar el medio ambiente y proteger la salud pública.

Por lo tanto el relleno sanitario y el reciclaje, presentan las mejores opciones para los países en vías de desarrollo, particularmente para la ciudad de México.

El desarrollo de este trabajo, se presenta como respuesta a la problemática derivada del manejo de desechos sólidos, por lo que cabe aclarar los siguientes puntos:

- El proceso de producción, consumo, recolección, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos genera empleo directo, indirecto, público y privado que debe ser considerado como un elemento que contribuye al desarrollo nacional.
- En cuanto a la producción de alimentos, es fundamental para orientar aquellos procesos de tratamiento y disposición final de desechos sólidos que tiendan a producir derivados para la agricultura y preservar el medio ambiente, protegiendo sus potencialidades y productividad.
- Respecto a la organización social para el trabajo, el desecho es una fuente de riqueza que requiere de esquemas ordenados de organización social, que hagan posible su recuperación para el país en general.

Finalmente formulamos algunas recomendaciones, dirigidas a las autoridades y a la población en general con el objeto de facilitar y optimizar el tratamiento y la disposición final de los desechos, que consideramos son de utilidad:

- Promover el uso de productos que generen desechos reciclables, fomentar la producción de bienes con mayor durabilidad y menor requerimiento de envase, reducir el volumen de desecho del proceso de producción y asegurar el tratamiento de éste.
- Racionalizar el consumo de bienes generadores de desechos difíciles de tratar o reciclar y promover la selección y recuperación por parte de los consumidores.
- Disminuir los efectos negativos al medio ambiente de la localización y operación en los lugares destinados a rellenos sanitarios.
- Fomentar una mayor utilización de materiales recuperados, a partir de los desechos sólidos para procesos de producción o consumo.

BIBLIOGRAFIA.

- American Public Works Association.
"Tratamiento de los Residuos Urbanos".
Tr. Francisco Sanabria Celis.
Madrid, España. 1976. 586 p.p.
Instituto de Estudios de Administración Local.
- Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux.
"Técnicas du Higiene Urbana".
Tr. Francisco Sanabria Celis.
Madrid, España. 1977. 701 p.p.
Instituto de Estudios de Administración Local.
- Boletín de Guanos y Fertilizantes de México S. A.
"Los Microorganismos del Suelo y la Materia Orgánica".
Ing. Ferrer Galvan. Trimestral.
México, D. F. Abril-Septiembre 1963.
- Comprehensive Technologies International.
"General Analysis of Wastewater and Solid Waste Treatment Alternatives".
C. T. I., Inc. Septiembre 1981.
- Departamento del Distrito Federal.
"Manual de Operación Laboratorio Planta Industrializadora de Desechos Sólidos".
México, D. F. 1976. 141 p.p.
Talleres de Servicios Unidos de Artes Gráficas, S. A.
- Departamento del Distrito Federal.
"Manual de Operación Planta Industrializadora de Desechos Sólidos".
México, D. F. 1974. 31 p.p.
- DIMSA.
"Estudio sobre la Recolección y Tratamiento de Basuras en la Zona Urbana del Valle de México".
México, D. F. 133 p.p.
- Dirk R. Brunner and Daniel J. Keller.
"Sanitary Landfill Design and Operation".
U. S. Environmental Protection Agency, 1972.

- Lopez Garrido J., Pereira J., Rodríguez R.
"Eliminación de los Residuos Sólidos Urbanos".
Barcelona, España. 1980. 351 p.p.
Editores Técnicos Asociados.
- Lopez Garrido J., Vidal Francisco M., Periera J.
"Basura Urbana - Recogida, Eliminación y Reciclaje"
Barcelona, España. 1975. 294 p.p.
Editores Técnicos Asociados.
- Marino J., Doherty J., Sanders S.
"A Strategic Report on the Resource Recovery Industry".
Harvard Graduate School of Business Administration, Mass.
E. U. A. 1981.
- Richard M. Felder, Ronald W. Rousseau.
"Principios Básicos de los Procesos Químicos".
México, D. F. 1981.
Editorial El Manual Moderno.
- Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.
"Desarrollo Urbano, Sistemas de Manejo y Disposición Final de
los Desechos Sólidos".
- Secretaría de Salubridad y Asistencia Pública.
"Manual de Manejo, Tratamiento y Disposición de Desechos
Sólidos".
México, D. F. 1962. 355 p.p.
- Suiza Su Asociada.
"Protección del Medio Ambiente".
Jacques Aubort.
Lausana/Zurich, volumen No. 8, 1981. 128 p.p.
- Suiza Su Asociada.
"Protección del Medio Ambiente".
Jacques Aubort.
Lausana/Zurich, Febrero 1985. 78 p.p.
- Tchobanoglous, Theisen, Eliasson.
"Solid Wastes: Engineering Principles and Management Issues".
Mc Graw-Hill, 1977.