



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Química

ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES  
METODOS DE DISPOSICION SANITARIA  
DE LOS DESECHOS SOLIDOS URBANOS.

T E S I S

Que para obtener el título de

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a :

Nodier Eliecer García Aparicio



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

CLAS TESIS 1977  
ADQ M.T. 155  
FECHA \_\_\_\_\_  
PROC \_\_\_\_\_



QUÍMICA

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE      Prof. RAMON VILCHIS ZIMBRON  
VOCAL            Prof. EDUARDO ROJO Y DE REGIL  
SECRETARIO      Prof. GRACIELA MARTINEZ ORTIZ  
1er.SUPLENTE    Prof. JORGE MENCARINI PENICHE  
2do.SUPLENTE    Prof. ALBERTO DE LA FUENTE ZUNO

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

SUBSECRETARIA DEL MEJORAMIENTO DEL AMBIENTE

SUSTENTANTE      NODIER ELIECER GARCIA APARICIO  
ASESOR DEL TEMA    I.Q.GRACIELA MARTINEZ ORTIZ

Con el más profundo agradecimiento

a mis padres:

CORALIA APARICIO DE GARCIA

Y

HERNAN GARCIA FRANCESCHI

A mis hermanos:

RUBY

FREDDY

EYNAR

HERNAN

A mi tío:

BRUNO CEDEÑO

A mi esposa TERE por su valiosa ayuda  
durante la elaboración de ésta.

A mis hijas:

ALEJANDRINA

Y

QUETZALLI

A mis maestros:

I.Q. GRACIELA MARTINEZ ORTIZ

Y

M.en C. FRANCISCO ZEPEDA PORRAS

Por la desinteresada ayuda que  
me brindaron durante el desarro  
llo de este trabajo.

## C O N T E N I D O

	pág.
Introducción .....	1
Capítulo 1.	
Aspectos generales sobre contaminación .....	3
1.1.- Contaminación del agua.	
1.2.- Contaminación del aire.	
1.3.- Contaminación del suelo.	
Capítulo 2.	
Disposición de desechos sólidos .....	13
2.1.- Conceptos generales.	
2.1.1.-Clasificación.	
2.1.2.-Efectos de los desechos sólidos sobre el ambiente.	
2.1.3.-Efectos de los desechos sólidos sobre la salud.	
2.2.- Recolección y transporte.	
2.2.1.- Factores que afectan la recolección y el transporte.	
2.2.2.- Agencias de recolección.	
2.2.3.- Selección del equipo de recolección y transporte.	
2.2.4.- Almacenamiento.	
2.2.5.- Diferentes rutas de recolección.	
Capítulo 3.	
Métodos de disposición de los desechos sólidos...	27
3.1.- Métodos no sanitarios.	
3.1.1.- Tiradero a cielo abierto.	

- 3.1.2.- Tiradero al mar.
- 3.1.3.- Alimento para cerdos.
- 3.2.- Métodos sanitarios.
  - 3.2.1.- Relleno sanitario.
  - 3.2.2.- Composta.
  - 3.2.3.- Incineración.
  - 3.2.4.- Pirólisis.
  - 3.2.5.- Compactación.
- 3.3.- Análisis comparativo de los diferentes métodos sanitarios de disposición de los desechos sólidos.

Capítulo 4.

Conclusiones y recomendaciones.....74

- 4.1.- Conclusiones.
- 4.2.- Recomendaciones.

Bibliografía .....78



## INTRODUCCION

La contaminación es un problema que se presenta, en mayor o menor escala, en todos los países del mundo; en algunos países, desde hace varias décadas han atacado este problema, enfocándolo principalmente a la solución de la contaminación del aire y del agua; hace apenas unos años cuando se empieza a dar importancia a la contaminación producida por los desechos sólidos.

Es evidente que un aumento desmesurado de la población mundial ha traído como consecuencia una gran generación de desechos líquidos, sólidos y gaseosos que al depositarse sin un previo tratamiento sobre el medio ambiente, lo contaminan.

Aunque el problema de los desechos sólidos es tan antiguo como la humanidad y a pesar de lo avanzado de la tecnología, el método de disposición final en la mayoría de las comunidades, sigue siendo el tradicional tiradero a cielo abierto, que contamina el aire, el agua y el suelo, transformando este lugar de disposición en un centro propagador de moscas, roedores, olores y enfermedades.

Conociendo la enorme cantidad de desechos sólidos que diariamente son depositados en tiraderos a cielo abierto (en la Ciudad de México se tiran alrededor de -- 6000 toneladas por día, de desechos sólidos), y dado lo poco que se conoce sobre la contaminación producida por los desechos sólidos y las formas posibles de controlar este problema en forma eficiente si los comparamos con

la gran cantidad de métodos y dispositivos para el tratamiento de aguas y las técnicas usadas para evitar la contaminación del aire, es por lo que el OBJETIVO del presente trabajo es EXPONER LOS DIFERENTES METODOS EXISTENTES PARA LA DISPOSICION SANITARIA DE LOS DESECHOS SOLIDOS URBANOS , MENCIONANDO Y COMPARANDO LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS QUE PRESENTAN EN CUANTO A CONDICIONES SANITARIAS , ECONOMICAS Y SOCIALES , ASI COMO LA CANTIDAD Y CARACTERISTICAS DE LOS DESECHOS SOLIDOS , PARA QUE EN BASE A ESTO , SE PUEDA SELECCIONAR EL MEJOR METODO O UNA COMBINACION DE VARIOS DE ELLOS.

Para el desarrollo de este trabajo, en el primer capítulo se tratan conceptos generales sobre la contaminación del medio ambiente. En el siguiente capítulo se mencionan conceptos generales sobre los desechos sólidos, su disposición, algunas de sus clasificaciones, efectos de éstos sobre el medio ambiente y la salud; posteriormente se menciona la importancia de la recolección y el transporte de los desechos sólidos, pues las estadísticas indican que éstas operaciones representan generalmente del 50-75 % de toda la operación de disposición. En el tercer capítulo se describen los métodos de disposición y se efectúa un análisis comparativo de los métodos sanitarios de disposición de los desechos sólidos. En el último capítulo, se concluye y se dan recomendaciones.

CAPITULO 1

CONCEPTOS GENERALES

ASPECTOS GENERALES SOBRE CONTAMINACION.

La contaminación ambiental no es un fenómeno nuevo ni se limita a los países altamente industrializados, - sino que se inicia desde la aparición de los primeros - grupos humanos que deterioran el medio ambiente con actividades tales como la caza, la pesca y el uso del fue go; lo que parece ser que para obtener mejores condiciones de vida, el hombre ha deteriorado su medio ambiente natural. Para poder sobrevivir, tomó de la naturaleza - todo lo que pudo y a medida que adquirió nuevos conocimientos y experiencia, obtuvo de ella los mejores beneficios, al grado de explotarla sin restricciones, destruyéndola y desperdiciándola en la misma forma, alterando así el equilibrio ecológico de grandes áreas.

A medida que el hombre mejoró sus técnicas de caza pesca yagrícolas, empezaron a aparecer poblaciones y en poco tiempo, ciudades, la aparición de las cuales se debió a las necesidades de satisfacer las demandas de las industrias. Los grandes adelantos posteriores en los medios urbanos y de transporte, traen consigo las grandes concentraciones de población que a su vez reclaman una intensa actividad agrícolá, ganadera, minera e industrial.

Es cierto que el hombre tiene derecho a hacer uso de sus recursos naturales para su subsistencia y progrso, pero una equivocada tendencia a escatimar esfuerzos, una concepción errónea de la explotación de los bienes naturales en beneficio de las minorías y el desmedido afan de lucro y poderío económico, han propiciado el irra

cional e irresponsable aprovechamiento en grado tal, -- que lugares fértiles en otros tiempos, hoy en día son zonas áridas y se han extinguido o están por extinguirse, múltiples especies vegetales y animales.

Esta acción irreflexiva del hombre, lo ha llevado a alterar en forma negativa el agua, el aire y el suelo con artículos desechables del consumidor moderno tales como desechos urbanos, industriales, sustancias radioactivas, etc.

Se entiende por contaminante, toda materia o sustancia, o sus combinaciones o compuestos químicos y biológicos, tales como humos, polvos, cenizas, gases, bacterias, residuos y desperdicios de cualesquiera otros -- que al incorporarse o al adicionarse al aire, agua o -- suelo, pueden alterar o modificar sus características -- naturales o las del ambiente; así como toda forma de energía como calor, radioactividad, ruidos, que al operar sobre o en el aire, agua o suelo, altere su estado natural.

Por contaminación se entiende la presencia en el -- medio ambiente, de uno o más contaminantes o cualesquiera combinación de ellos que perjudiquen o molesten la -- vida, la salud y el bienestar humano, la flora o la fauna, o degraden la calidad del agua, el aire, el suelo, -- los bienes, los recursos de la nación en general o de -- los particulares.

## 1.1 CONTAMINACION DEL AGUA.

La interpretación ecológica de la antigüedad, indica que el volumen de agua de los mares, no podría nunca sufrir una contaminación significativa, por lo cual el hombre sistemáticamente arrojó a los mares la totalidad de sus desechos tanto urbanos como industriales.

Fue hasta fechas recientes, cuando el hombre se percató de que para romper los ciclos vitales en diversas cadenas no era necesario contaminar la totalidad del volumen del agua de la tierra, sino que bastaba para ello, con empezar a envenenar la plataforma continental en la que viven la mayoría de las especies marinas, que el petróleo cubriera con una fina capa la superficie del mar y que las corrientes oceánicas se calentaran con el calor producido por las plantas de energía atómica, eléctrica o por las descargas de aguas industriales.

En México se han presentado graves problemas de contaminación de sus aguas y un ejemplo importante es la actual contaminación que presenta la laguna de Chapala, -- que está afectada por todos los desechos lanzados a la cuenca del río Lerma, que atraviesa el área más industrializada de la república, donde se localizan las ciudades de: Querétaro, Celaya, Salamanca, Irapuato, Toluca y La Piedad; las descargas realizadas son principalmente por industrias de refinación de petróleo, petroquímica, procesado y empaquetado de alimentos, fibras sintéticas y porcicultura. Todo lo anterior ha hecho que la Laguna de Chapala sea considerada como no apta para la vida animal además de que despiden olores desagradables que ocasionan

problemas a los vecinos y turistas que la frecuentan.

Dado que el agua es un elemento vital para todos los seres vivos, existe la necesidad de prestarle mucha atención y una manera de controlar su contaminación, se ría colocando plantas de tratamiento en las descargas de desecho de cualquier índole, de las cuales ya existen en algunas zonas industriales; además es necesario establecer leyes tendientes a combatir la contaminación de las aguas, como es la nueva Ley Federal de Aguas de México.

## 1.2 CONTAMINACION DEL AIRE.

La contaminación del aire, es un resultado secundario de la actividad humana y que aumenta a medida que ésta alcanza altos niveles de consumo. Desde el nacimiento de un individuo, éste empieza a deteriorar el ambiente por que su nacimiento trae consigo mayores exigencias que redundan en más industrias, más automóviles mayores servicios, etc.

A medida que se satisfacen todas las anteriores necesidades, resultan grandes concentraciones humanas que originan emisiones enormes de contaminantes. La causa principal de la contaminación atmosférica la constituyen el mal empleo de combustibles fósiles y sus derivados (combustiones incompletas). Entre las principales fuentes emisoras tenemos los vehículos automotores, plantas industriales tales como termoeléctricas, refinerías

de petróleo, industrias minerometalúrgicas, alimenticias y químicas que arrojan contaminantes del tipo de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, trióxido de azufre, hidrocarburos y aldehídos -- principalmente; que se presentan en forma de humos, polvos y gases.

Los contaminantes en estado gaseoso presentes en la atmósfera además de afectar la calidad del aire, debido a su fácil difusión y a las precipitaciones pluviales, pueden contaminar los suelos y las aguas. Estos -- componentes gaseosos, pueden también reaccionar entre sí espontáneamente o por la acción de la energía solar para formar otros compuestos diferentes que pueden ser más peligrosos.

Un problema que se puede mencionar, es el caso del Smog, que generalmente predomina en las grandes ciudades y está constituido por monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos; éstos en el aire se unen por medio de una reacción química en la que participa la energía solar y forma una mezcla totalmente nueva -- que causa irritación a los ojos y a las vías respiratorias. Además, hay días en que ocurren inversiones de temperatura que pueden intoxicar a la población, pues los contaminantes no se dispersan debido a las bajas temperaturas existentes en las capas inferiores de la atmósfera; ejemplos de lo anterior, ha ocurrido en algunas ciudades del mundo con consecuencias trágicas como es el caso del Valle de Mossa, en Bélgica, en 1930, en el que murieron 60 personas y varios cientos se intoxicaron; en Donora, Pa. U.S.A., en 1948, murieron 20 personas.



y durante 4 días se intoxicaron 7000; en Londres, Inglaterra, en 1952, mueren 4000 personas en un periodo de 5 días. En Poza Rica, México, en 1950 debido a un escape de gases sulfurosos mueren 28 personas y se intoxican 320.

Cuando se planea con anticipación y se establece la forma de control desde el inicio de un proyecto, se puede frenar la contaminación atmosférica producida por las industrias; además de que se pueden obtener beneficios económicos debido a la recuperación de materiales.

La contaminación producida por vehículos automotores es mucho más grave y presenta más problemas para su solución, puesto que hay que corregir los tipos de gasolinas, mejorar los automóviles existentes para asegurar una combustión completa, además de que hay que controlar el aumento de automóviles en circulación. Una solución para este problema, sería el uso de transportes colectivos como uno de los principales medios de transporte.

Un problema que aumenta a medida que crecen las industrias y aumentan los servicios, así como la población, es la contaminación por ruidos, sonido inarticulado y desagradable que se produce en cualquier parte pero que en las mayores concentraciones humanas, hace que este problema empiece a adquirir perfiles dramáticos. El transporte, las obras de construcción y la actividad industrial constituyen sus fuentes más importantes.

El hombre moderno está en un ambiente eminentemente ruidoso que en algunos centros de trabajo se encuentra -

incrementado. El ruido determina no solamente una fatiga en la audición sino también una alteración en todo el -- comportamiento del individuo, produciendo las siguientes consecuencias: fatiga producida por el esfuerzo que se - requiere para percibir un discurso o sonido dentro de un ambiente ruidoso; faltas cometidas subsiguientemente a e rrores en la percepción; irritabilidad con las consi---- guientes alteraciones en las relaciones sociales.

### 1.3 CONTAMINACION DEL SUELO.

La tierra, al igual que el agua y el aire, es un elemento indispensable que el hombre ha venido utilizando a través de la historia para poder subsistir y lograr mejores condiciones de vida. La mente del hombre ha podido - conjugar estos tres elementos para conseguir su mejor su pervivencia, pero ésta a su vez ha traído consigo la industrialización masiva, con esta industrialización y el aumento de la población, surgen grandes acumulaciones de desperdicios de empaques de alimentos, industrias y en - general, gran cantidad de desechos sólidos.

La contaminación de los suelos, desde luego que no es únicamente producto de las actividades humanas, sino que en parte es producto de los fenómenos propios de la naturaleza, de donde podemos dividir la contaminación de los suelos en natural e inducida. Dentro de los contaminantes inducidos se hallan materiales de desecho doméstico, compuestos químicos como hidrocarburos, metales pesados, fertilizantes, insecticidas, pesticidas, aguas negras y compuestos radioactivos. Entre los contaminantes naturales podemos hallar cenizas producto de los fenóme-

nos volcanológicos, las aguas salinas y sódicas y las --  
procedentes de los géisers.

Un grave problema de contaminación del suelo, lo --  
constituye la tala y quema despiadada de los bosques, --  
que posteriormente convertirán a éstas tierras en suelos  
erosionados. Otro problema que merece especial atención--  
lo constituyen los plaguicidas, entendiéndose por plagui--  
cida cualquier sustancia o mezcla de sustancias que se --  
destinan a combatir, destruir, controlar, prevenir, atenuar--  
o repeler la acción de cualquier forma de vida animal o--  
vegetal (insecto, roedor, nemátodo, hongo, mala hierba, etc)--  
que afecte la salud o bienestar del hombre, animal o ---  
plantas útiles. Por extensión se incluyen las sustancias  
o mezclas de sustancias que se usan para regular el cre--  
cimiento de las plantas defoliantes y desecantes.

Dentro de los plaguicidas hay algunos que por su u--  
so común y frecuente, se considera que pueden dejar mayo--  
res cantidades de residuos y entre ellos se hallan los --  
insecticidas para el control de insectos del suelo, que--  
si bien es cierto que acaban con las plagas aumentando --  
el rendimiento de las cosechas, también acaban con otros  
animales benéficos para el hombre; muchos de ellos, en--  
tre los que se pueden incluir los organoclorados como el  
dieldrín, aldrín, DDT, etc., son degradables a largo plazo,--  
lo que implica su acumulación en los vegetales, animales  
y por ende en el hombre, pudiendo éste último sufrir al--  
teraciones mutagénicas.

La cantidad de residuo de un plaguicida, depende de--  
la forma de aplicación, dosis utilizada, número de aplica

caciones, naturaleza de los suelos, riego, lluvias y temperatura. Se ha encontrado que generalmente el 15 % del insecticida utilizado originalmente, queda en el suelo - después de un año del tratamiento. Se ha demostrado así mismo, que los insecticidas en dosis excesivas en el suelo, pueden dar lugar a translocaciones a los cultivos. Entre los cultivos más sensibles para extraer del suelo -- los residuos están: la zanahoria, la papa y la cebolla.

Por todo lo anterior, creo que se hace necesario reglamentar el uso de plaguicidas, empleando éstos únicamente cuando la población de plagas así lo requiera y - siempre y cuando no existan otros mecanismos de control. Debe también reglamentarse la tala de árboles y evitar - los incendios en las zonas boscosas, para lo que el Gobierno de la República, a través de la Secretaría de Obras Públicas, ha puesto en funcionamiento algunos centros llamados refugios.

Frecuentemente, los contaminantes que alteran la naturaleza de cualquier elemento del medio ambiente (agua, aire o suelo) modifican también los otros elementos directa o indirectamente; un ejemplo de esto puede ser el hecho de que al esparcir un insecticida en el aire, éste pasa al suelo y debido a las lluvias, es arrastrado hasta los ríos y mares con la consiguiente contaminación de las aguas.

Otro caso en que se contaminan los tres elementos - del medio ambiente, es el de la quema de cualquier tipo de objetos que se haga a cielo abierto, puesto que primero se contamina la atmósfera con humos y partículas y -- posteriormente las lluvias o por la gravedad, hacen que -

Éstos pasen hasta el suelo, del que pueden ser removidos hasta los rios y mares, contaminándolos.

CAPITULO 2

DISPOSICION DE DESECHOS SOLIDOS

## 2.1 CONCEPTOS GENERALES SOBRE DESECHOS SÓLIDOS.

Los desechos sólidos comunmente conocidos como basuras, consisten de materiales heterogéneo de lenta y rápida descomposición, producto de las diversas actividades de las comunidades, entre las que podemos mencionar los desechos sólidos procedentes de mercados, hospitales, barrido de calles, actividades domésticas, etc.

La composición de los desechos sólidos varia de acuerdo a las condiciones de clima, localización geográfica, hábitos y nivel socioeconómico de la población.

En las tablas 1 y 2, se presenta la naturaleza de los desechos sólidos y la generación de basura por persona por día en algunas ciudades del mundo.

### 2.1.1 CLASIFICACION.

Los desechos sólidos se clasifican de acuerdo a su descomposición en no fermentables y en fermentables.

Entre los desechos sólidos no fermentables se encuentran:

Residuos industriales: Procedentes de fábricas, como es el caso de desperdicios de plásticos, cenizas, vidrios, metales, escoria, etc. (dependen del tipo de industria).

Residuos de construcción: Predominan principalmente restos de demoliciones, escombros, etc.

Residuos voluminosos: Predominan principalmente, troncos de árboles, muebles, colchones, automóviles, refrigeradores, etc.

NATURALEZA DE LAS BASURAS DE ALGUNAS GRANDES CIUDADES DEL MUNDO

	B.aires	Lima	Medellín	Sao Paulo	Londres	Tokio	Mexico	Guad.
	1961	1961	1962	1971	1967	1969	1972	1972
1.-Polvos de chimeneas y cenizas.....	----	----	1.6	----	19.29	----	----	----
2.-Cenizas .....	----	----	13.0	----	-----	----	----	----
3.-Vegetales y materia les putrescibles...	81.4	76.0	70.1	69.39	19.16	31.8	75.2	75.0
4.-Papel y cartón.....	11.0	18.0	8.6	16.8	33.97	35.3	9.2	9.0
5.-Metales .....	1.9	1.6	1.8	6.13	10.63	2.9	1.2	1.7
6.-Textiles .....	1.8	3.0	1.7	2.28	2.44	3.6	0.6	1.8
7.-vidrio .....	1.3	1.4	2.5	1.50	10.92	5.0	3.1	4.5
8.-Plásticos .....	0.9	---	---	1.21	1.30	9.7	0.2	---
9.-No clasificados ...	1.7	---	0.7	2.69	2.29	11.3	10.3	10.0
10.-Madera y bambú ....	----	---	---	----	----	----	1.6	0.2
11.-Hule y cuero .....	----	---	---	----	----	0.8	---	---
TOTAL	<u>100.0</u>	<u>100.0</u>	<u>100.0</u>	<u>100.0</u>	<u>100.0</u>	<u>100.0</u>	<u>100.0</u>	<u>100.0</u>

Los valores de la tabla están dados en porciento

TABLA # 1 ( ref.12 )



---

DESECHOS SOLIDOS POR PERSONA Y POR DIA QUE SE RECOGEN  
EN ALGUNAS CIUDADES DEL MUNDO .

---

Tokio	947 gramos
Nagoya	1350 gramos
Sapporo	418 gramos
Nueva York	2122 gramos
Hamburgo	1242 gramos
Londres	1038 gramos
Los Angeles	1156 gramos
Montreal	1666 gramos
Lima	700 gramos
México	650 gramos

---

TABLE # 2 ( ref. 12 )

Residuos tóxicos: Generalmente son residuos de la industria química, entre ellos tenemos tierras decolorantes, sustancias ácidas o básicas, lodos de cianuro o cromo, polvos de plomo, etc.

Entre los desechos sólidos fermentables se encuentran materias orgánicas de difícil degradación y fácilmente degradables. Entre las primeras se encuentran:

Plásticos y elastómeros: Aquí se hallan los fenoplastos, aminoplastos (vajillas, recipientes), poliolefinas (cápsulas de botellas), hules (neumáticos, juguetes), nylon, etc.

Tejidos y cueros: Constituidos por productos naturales y sintéticos o mezclas de fibras sintéticas, entre ellos están la lana, algodón, cuero, las fibras sintéticas son en su mayor parte plásticos del tipo poliamidas (nylon), acrílicos, fibras poliéster y polivinílicos.

Aceites y grasas: Las encontramos en trozos de carne, animales muertos, aceites vegetales y de pescado, mantecillas, ceras, etc.

Entre los desechos sólidos orgánicos de fácil degradación se encuentran:

Hidratos de carbono: Son los que más abundan en los desechos domésticos y se encuentran en forma de diversas celulosas provenientes de papeles, empaques, periódicos, cartones, etc.

Protidos: Se encuentran en las basuras domésticas en formas muy diversas y contienen una gran parte del nitrógeno que se encuentre en las basuras.

Sustancias diversas: Entre las más importantes están los fenoles, y las diastasas que se encuentran en pequeñas cantidades, pero indispensables para la fermentación.

Los desechos sólidos se clasifican de acuerdo a su origen en :

**Desechos residenciales:** Ricos en productos orgánicos de fácil degradación.

**Desechos comerciales:** Presentan alto contenido de papel-cartón, vidrio, madera, trapo, etc.

**Desechos industriales:** Incluye metales, vidrios, maderas plásticos, etc.

**Desechos institucionales:** Comprende desechos de hospitales, laboratorios y clínicas (hay necesidad de una disposición especial).

**Desechos de mercados:** Presentan cantidades significativas de materia orgánica.

**Desechos agrícolas y ganaderos:** Presentan vegetales y excremento de animales.

**Desechos de construcción:** Contienen restos de demoliciones, escombros ,etc.

## 2.1.2 EFECTO DE LOS DESECHOS SOLIDOS SOBRE EL AMBIENTE.

En la actualidad, el método de disposición final en muchos lugares del mundo, sigue siendo el tiradero a cielo abierto, en el cual las basuras, debido a procesos de fermentación aeróbicos y anaeróbicos, generan altas temperaturas y debido a la producción de metano, se producen autocombustiones que contaminan el aire con humos, polvos y cenizas; también hay que añadir a esto la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por los líquidos producidos; además el viento dispersa papeles, plásticos, polvos así como olores y este lugar atrae insectos y roedores propagadores de enfermedades.

Son bien conocidos los vicios de recolección y disposición de las basuras en México; entre los más conocidos tenemos el caso de las personas encargadas de realizar la recolección que se dedican a separar(pepena) las cosas que tienen algún valor, de manera que la eficiencia del servicio disminuye a tal grado que muchas personas, debido a la tardada y escasa recolección, se ven en la necesidad nada higiénica, de disponer las basuras en terrenos baldíos lo que trae como consecuencia la acumulación de roedores y moscas que son focos de infección.

Actualmente existen tres plantas de tratamiento de basuras(composta) en la república mexicana las que, si bien es cierto que no solucionan el problema de la contaminación producida por basuras, si son un paso importante para solucionar este grave problema que día a día aumenta en complejidad y magnitud debido al crecimiento de las ciudades.

### 2.1.3 EFECTOS DE LOS DESECHOS SOLIDOS SOBRE LA SALUD.

La permanencia en el ambiente, de los desechos sólidos, redundan en daños a la salud, pudiendo considerarse éstos como: Físicos( por las contusiones y accidentes de vidos a objetos vulnerables); Químicos (por las intoxicaciones con productos industriales); Biológicos(contaminación por agentes patógenos) y psicológicos(causados por la depreciación y el desconfort ambiental).

Las vías de acceso por las que la basura puede afectar al hombre con la subsecuente producción de los efectos mencionados son:

Por contacto directo.- En las personas que por su activi

dad, se encuentran constantemente en contacto directo con las basuras.

Por contacto directo.- Incluye una serie de medios a través de los que se hace sentir esa influencia en poblaciones que no están obligadas al contacto directo (vertebrados, invertebrados, accidentes, contaminación del aire y de los alimentos.

Son varias las modalidades de ataque atribuidas a la presencia de basura y que pueden causar efectos indeseables con posibles repercusiones sobre la salud y el bienestar físico de la humanidad. La mayor parte de las observaciones presentes se refieren a las molestias transmitidas ya sea por las moscas o los roedores que viven y proliferan en los desechos sólidos.

Se ha visto que la mosca común, transmite por lo menos treinta enfermedades virales, bacterianas y parasitarias (como tuberculosis, hepatitis, amibiasis y fiebre tifoidea). Se ha observado también que las ratas están implicadas en la propagación de Típhus, Leptospiras y Riketsias.

## 2.2 RECOLECCION Y TRANSPORTE. *COSTO DE RECOLECCION*

Lerca del 75% del costo total de manipulación de los desechos sólidos, se atribuye al proceso de recolección; la recolección tiene importancia significativa sobre la salud, comercios, hogares, campos deportivos, etc. por lo que en este trabajo se incluye un estudio sobre algunos sistemas de recolección y transporte.

Para discutir la recolección y transporte, es necesario determinar las cantidades y características de los desechos sólidos. Debe recordarse que hay diferencias entre los desechos sólidos generados y recolectados. En general las características de los desechos sólidos recolectados dependen de los habitantes y las actividades por ellos desarrolladas; es necesario recalcar la importancia de que exista un supervisor y de tomar en cuenta la longitud del área de recolección.

El propósito de la recolección es eliminar los desechos sólidos de los lugares donde se almacenan, disponiéndolos en sitios sanitariamente adecuados, lo que se hace para reducir el contacto entre el hombre y los desechos sólidos, así como entre aquél y los roedores e insectos que atraen los desechos sólidos (principalmente orgánicos). La frecuencia de recolección, debe hacerse, en lugares de escasa generación, como áreas recreativas por lo menos una vez a la semana, con el fin de evitar malos olores, proliferación de moscas y de roedores; para centros urbanos, se sugiere que esta se realice de preferencia diariamente.

#### 2.2.1 FACTORES QUE AFECTAN LA RECOLECCION Y EL TRANSPORTE.

##### A) Factores Fijos

- 1.-Clima
- { nieve: interrumpe el horario y congela el material.
  - { lluvia: Puede añadir peso a los desechos y - aumenta el número de accidentes.
  - { calor excesivo: Debilita a los trabajadores, haciendo más lenta la recolección.

- 2.-Topografía { áreas abruptas  
                  { áreas planas
- 3.-Arreglo físico del área { calles estrechas  
                                  { calles de una sola vía  
                                  { calles cerradas
- 4.-Densidad de población { casas habitacionales  
                                  { edificios habitacionales
- 5.-Tipos de desechos sólidos producidos { de patios y jardinería  
  { desechos voluminosos  
  { desechos peligrosos

B) Factores variables

- 1.-Almacenamiento      contenedor: puede variar en su número, peso, tamaño, forma, tipo (desechable o de rehuso), localización y accesibilidad.
- 2.-Reuso de materiales    Puede requerir una recolección separada (papel, vidrio y metales) .
- 3.-Disposición In Situ    a) moledores domésticos de desechos.  
                              b) quemadores en los patios.  
                              c) incineración.
- 4.- Frecuencia de recolección    a) una vez por semana.  
                                      b) 2 ó mas veces por semana.
- 5.-Equipos de recolección    a) tamaño.  
                                      b) tipo.

- 6.-Factores políticos a) grupos especialmente interesados.  
b) grupos políticamente interesados.

## 2.2.2 AGENCIAS DE RECOLECCION.

A) RECOLECCION MUNICIPAL.-Esta se lleva a cabo por empleados públicos bajo la dirección de un departamento oficial.

Ventajas: Su principal motivo será el saneamiento; éste departamento es directamente responsable frente al público.

Desventajas: Pueden existir influencias políticas adversas, puede haber reemplazamiento del supervisor.

Hay posibilidad de operación por oficiales inexpertos.

Puede darse énfasis a lo más costoso y no a lo más eficiente.

B) RECOLECCION POR CONTRATO.-Se efectúa por una compañía particular pagada directamente por la comunidad.

Ventajas: El servicio se considera como un negocio.

La influencia política es menos evidente.

La parte de recolección en la ciudad se simplifica.

Los costos son establecidos por adelantado.

El contratista puede incrementar el capital.

Los ciudadanos pueden exigir una recolección adecuada.



Desventajas: El principal motivo son las ganancias o lucro antes que el saneamiento.

C) RECOLECCION PRIVADA.- Se realiza por individuos o compañías que se arreglan directamente con particulares y comerciantes para llevar a cabo el servicio.

Ventajas: Es de gran utilidad en sitios donde no existen otras formas de recolección.

Desventajas: Ocurren sobreposiciones de rutas.

La competencia puede disminuir el precio, con la consecuente disminución del saneamiento de la región.

A pesar de las agencias recolectoras particulares existentes, la recolección de los desechos es una responsabilidad gubernamental y debe supervisarse por agencias gubernamentales apropiadas.

Se asume que la recolección es un proceso que consta de tres pasos:

- 1.- Viaje al área y del área que se va a servir.
- 2.- Viaje al sitio y del sitio de disposición.
- 3.- Recolección en el área.

El tiempo total requerido para la recolección en un área puede expresarse como:

$$T_C = t_{TT} + t_{TF} + t_{TD} + t_{DS} + t_{FD} + t_C$$

Donde:

$T_C$  es el tiempo total requerido para la recolección.

$t_{TT}$  es el tiempo requerido para viajar al área.

$t_{TF}$  es el tiempo requerido para regresar del área.

$t_{TD}$  es el tiempo requerido para viajar al sitio de disposición.

$t_{DS}$  es el tiempo gastado en descargar en el sitio de disposición, que depende del vehículo usado y del personal que interviene en la operación.

$t_{FD}$  es el tiempo requerido para viajar del sitio de disposición al área garaje.

$t_C$  es el tiempo requerido para recolectar en el área (está en función de la cantidad de desechos y del personal disponible para la operación).

### 2.2.3 SELECCION DEL EQUIPO DE RECOLECCION Y TRANSPORTE.

Para seleccionar el equipo a usar en la recolección y el transporte de los desechos sólidos urbanos, empezaré por mencionar el equipo usado en las áreas recreativas dentro de los municipios y ciudades. En los Estados Unidos de Norte América, se ha desarrollado un sistema de contenedores con capacidades de 20-210 litros aunque se ha comprobado que contenedores de 75-120 litros son más eficientes que los anteriores; para todo esto hay que considerar ciertos factores como son: la necesidad de una tapa adecuada, necesidad de asas, además deben tener buena apariencia y ser de material durable.

Para estas áreas, debido a que son de poca generación se recomienda que el servicio de recolección se haga una vez a la semana. La tabla # 3 nos da una idea de los costos anuales de un contenedor.

Entre el equipo de recolección y transporte podemos mencionar el correspondiente al barrido manual y me

COSTOS DE ALMACENAMIENTO DE DESECHOS SOLIDOS USANDO CON  
TENEDORES DE 120 LITROS.

Costo primario del contenedor -----	\$140.00
Costos de plataforma -----	\$300.00
Costos de instalación -----	\$400.00
	<hr/>
COSTOS TOTALES PRIMARIOS POR CONTENEDOR	\$840.00

Vida estimada ----- 10 años.

Costo anual por contenedor -----	\$84.00
Costo anual por mantenimiento -----	\$10.00
Costo anual por forros plásticos -----	\$86.00
	<hr/>
COSTO TOTAL ANUAL POR CONTENEDOR	\$180.00

Estos costos están dados en moneda nacional, según el nuevo valor del peso mexicano a partir de Septiembre de 1976.

IAELA # 3 (ref.2).

cánico y los camiones de recolección y transporte.

Para el equipo de barrido manual se usan principalmente escobas y carritos de mano; este servicio debe estar auxiliado por el uso de papeleras, las cuales deben colocarse a distancias no mayores de 100 metros, en calles, centros comerciales, recreativos, etc. de acuerdo al flujo de personas en éstos lugares. Para poder ubicar con exactitud las papeleras, se tendrá que recurrir a la experiencia y observación.

Debido a que el barrido manual es una operación bastante onerosa, éste tiende a desaparecer, sobre todo debido a la existencia de sistemas mecánicos que aumentan la eficiencia y disminuyen los costos; desde luego que en aquellos lugares donde la mano de obra sea abundante y barata o cuando se quieran generar mas empleos, se puede emplear éste sistema.

En el barrido mecánico se emplean barredoras de varios tipos entre las que predominan las de cuatro ruedas que se utilizan para vías rápidas y las de tres ruedas, empleadas en aquellas vías que presentan mayores obstáculos. Generalmente este servicio se ofrece en la noche, para aumentar su eficiencia, puesto que se eliminan grandemente los problemas de tráfico y existe menor número de autos estacionados en las calles.

En cuanto a los camiones encargados de realizar la recolección y el transporte, podemos decir que existen muchos tipos, entre los que se hallan: camiones tubulares compactadores, de redilas, de volteo, con carga tra-

sera, con carga frontal, etc. En la tabla #4 se presenta una estimación promedio de costos para diferentes vehículos de recolección y transporte.

#### 2.2.4 ALMACENAMIENTO.

Para aumentar la eficiencia de recolección, es necesario que existan locales o recipientes apropiados para el almacenamiento, ya sea domiciliario o industrial; a continuación mencionaré un método sencillo para calcular un local de almacenamiento de desechos sólidos.

$$V = (nG/PV)(1/f)(F)$$

Donde:

n es el número de habitantes que usarán el local.

G es la generación de desechos sólidos(Kg/hab-día).

PV es la densidad de los desechos sólidos.

f es la frecuencia de recolección(No. de veces por semana).

F es el factor de seguridad.

V es el volumen requerido.(local de almacenamiento).

#### 2.2.5 DIFERENTES TIPOS DE RUTAS DE RECOLECCION.

El término ruteo se ha aplicado al manejo de desechos sólidos de varias maneras distintas. Como respuesta, se han desarrollado algunos modelos o aproximaciones para el envío de los desechos sólidos y se pueden clasificar en tres categorías: macro rutas, rutas distritales, y microrutas.

Las macro rutas determinan la asignación de rutas -

COSTOS PROMEDIO Y CARACTERISTICAS DE DISEÑO PARA SELECCIONAR LOS VEHICULOS DE RECOLECCION DE DESECHOS SOLIDOS.

C A M I O N E S

	Pick up (1 ton)	Redila (1.5 ton)	Empacador (10 m <sup>3</sup> )	Empacador (15 m <sup>3</sup> )
Costo inicial	\$60 000	\$80 000	\$200 000	\$300 000
Depreciación				
7 años de vida	\$700/M.O.	\$900/M.O.	\$2400/M.O.	\$3600/M.O.
14000 hrs. "	\$4.00/hr.	\$6.00/hr.	\$14.00/hr.	\$22.00/hr.
Costo de operación.	\$12.00/hr.	\$14.00/hr.	\$22.00/hr.	\$28.00/hr.
Costo total del vehículo	\$16.00/hr.	\$20.00/hr.	\$36.00/hr.	\$50.00/hr.
Máxima capacidad (m <sup>3</sup> )	7.5m <sup>3</sup>	11.5 m <sup>3</sup>	10 m <sup>3</sup>	15 m <sup>3</sup>
Máxima carga útil (toneladas)	1	1.5	5	10
Máxima carga útil esperada (toneladas)	0.85	1.28	3.25	5
Carga útil normal (contenedores).	70	100	250	400

\$ = moneda nacional a partir de septiembre de 1976

TABLA # 4 ( ref. 2 ).

de colección diaria hacia los sitios de proceso y disposición existentes. Su objetivo consiste en optimizar el uso de los procedimientos y de las facilidades de disposición en términos de capacidades diarias de gran rango y de costos de operación de los servicios, mientras que minimiza el tiempo de viaje redondo de acarreo( y por lo tanto los costos de acarreo), de las rutas de colección, a los sitios de procesamiento o disposición.

Para las macro rutas, se hace necesaria cierta información esencial, entre la que se incluye: tiempo de acarreo de las rutas a los diferentes sitios de disposición y procesamiento, el tamaño de las cuadrillas, la capacidad del vehículo, las llegadas programadas, el tiempo de servicio en los sitios(paradas), periodos largos y cortos y los costos de los sitios de disposición final.

Las macro rutas pueden también ser de gran utilidad para determinar, de entre varios procedimientos propuestos y sitios de disposición, cuales son los más económicos, ya que consideran factores tales como costos, capacidades de los sitios y tiempos de viajes redondos de recolección.

El sistema de distribución determina un trabajo diario equitativo, dividiendo las áreas de recolección en rutas balanceadas de tal manera que todas las cuadrillas -tengan la misma cantidad de trabajo. Para lograr lo anterior, se efectua una evaluación muy cuidadosa de la forma en que gastan su tiempo las cuadrillas de recolección.

El sistema de micro rutas observa en detalle cada á

rea de servicio, con el fin de determinar la trayectoria que el vehículo seguirá para coleccionar en su ruta. Su objetivo es minimizar el tiempo de manejo en las rutas de recolección, minimizando las distancias muertas (p.e: fragmentos de calles que no tienen servicio o que son atravesadas más de una vez), las reversas de los vehículos, las vueltas en U, las vueltas a la izquierda y la recolección en grandes calles durante las horas de mucho tráfico y otros tiempos de demora. De las figuras 1 a 7 se muestran algunos patrones de microrutas. (ref. 7 ).



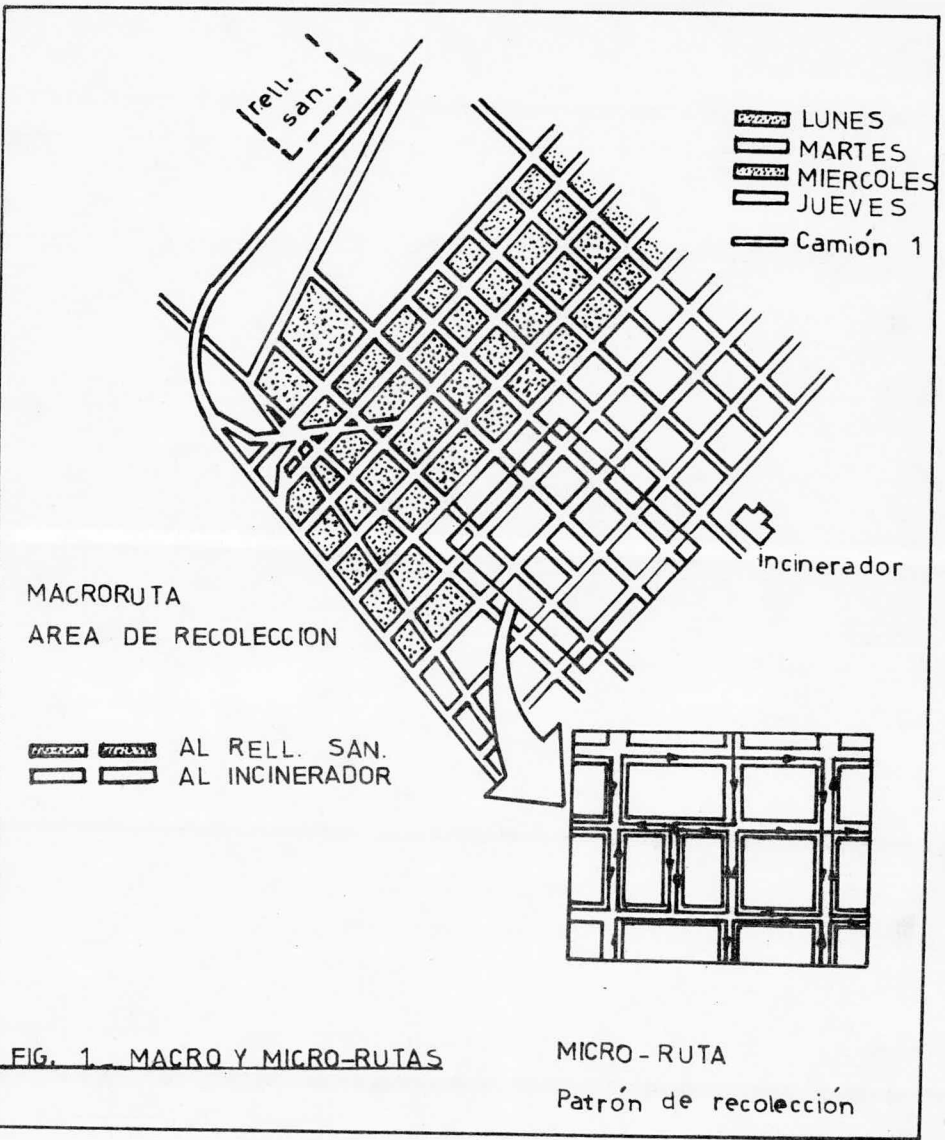
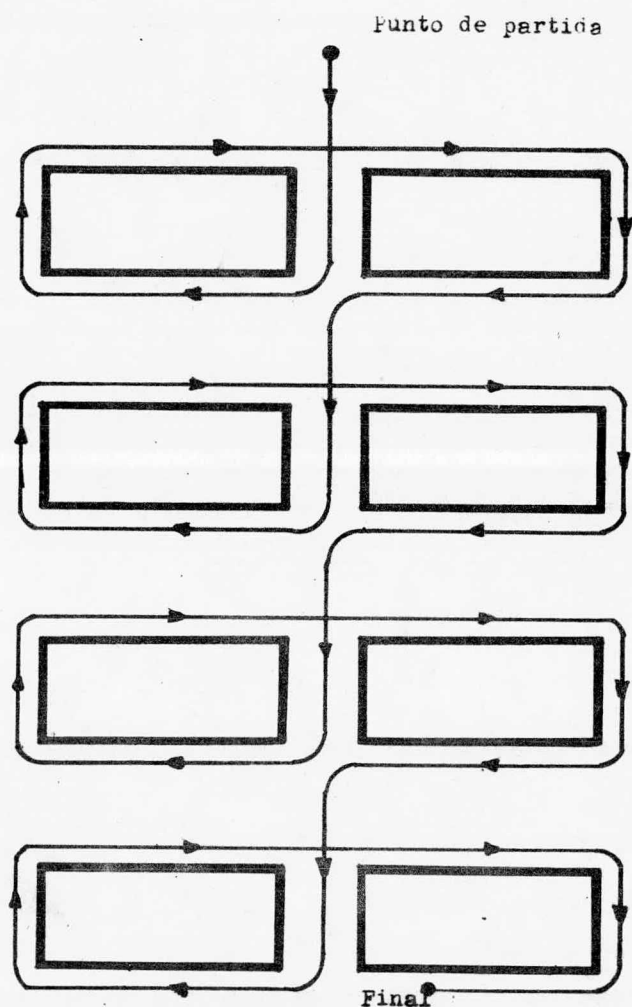


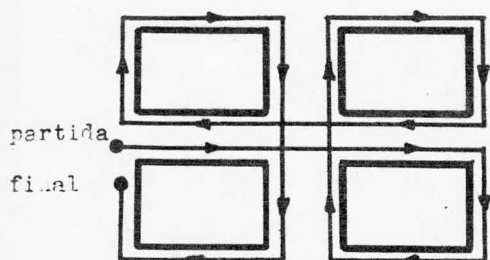
FIG. 1. MACRO Y MICRO-RUTAS

fig. 2

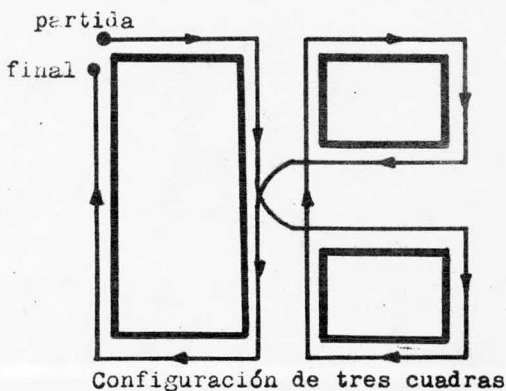


PATRON DE RUTEO ESPECIFICO PARA CALLES DE UN SOLO SENTIDO.-En este patrón, la recolección se efectúa de ambos lados de la calle de un solo sentido durante el paso del camión recolector; en las calles de doble sentido, se efectúa a cada lado de éstas. Para calles de un sentido amplias o muy activas, es necesario dar vuelta atrás y volver a pasar por el otro lado.

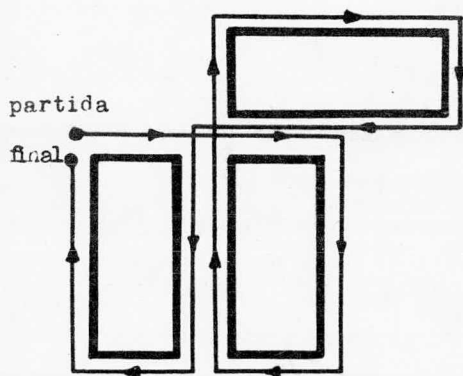
fig. 3



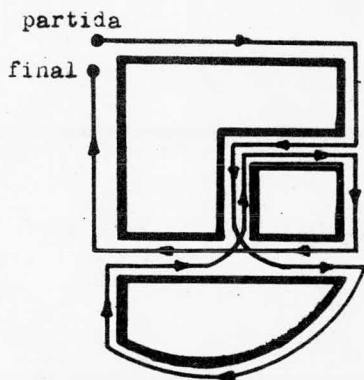
Configuración de 4 cuadras aplicable en cualquier caso en que se presenten 4 cuadras en esta posición.



Configuración de tres cuadras



Variación de una configuración de tres cuadras.



Variación de la configuración de tres cuadras.

Aquí se presentan patrones de ruteo específicos para configuraciones de 3 y 4 cuadras. En todas estas configuraciones, las cuadras pueden variar en tamaño y forma.



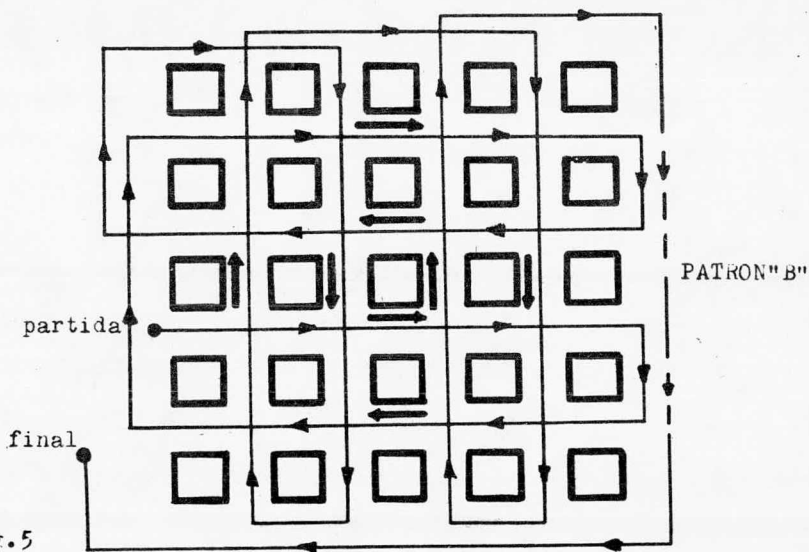
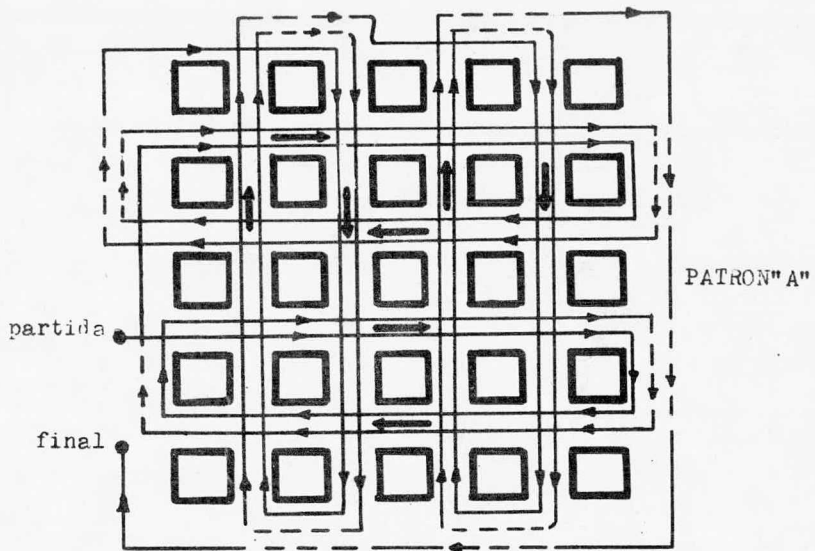


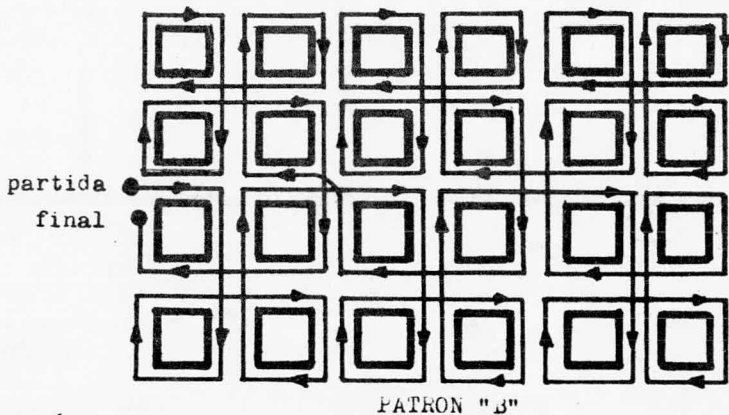
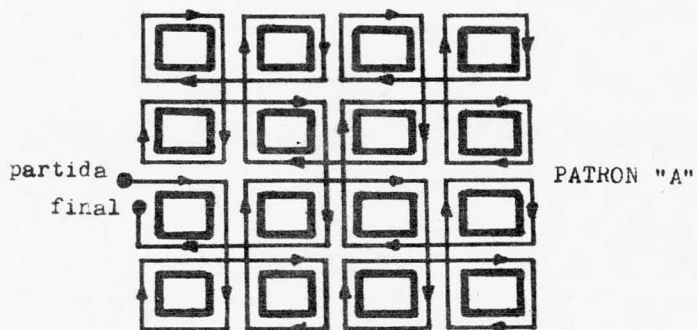
fig.5

PATRON "A".-Colección de un lado de la calle.

PATRON "B".-Colección de ambos lados de la calle.

PATRON ESPECIFICO DE RUTEO PARA MULTIPLES CALLES DE 1 SENTIDO.-  
 Nótese que en todos los casos se sigue un movimiento de reloj.

→ Dirección de las calles de un solo sentido.



**fig. 6**  
**PATRON "A".**-Patron de 16 cuerdas, sin vuelta a la izquierda y sin  
**PATRON "B".**-Patron de 24 cuerdas ( 4 x 6 ), con una vuelta a la  
 izquierda y sin distancias muertas.

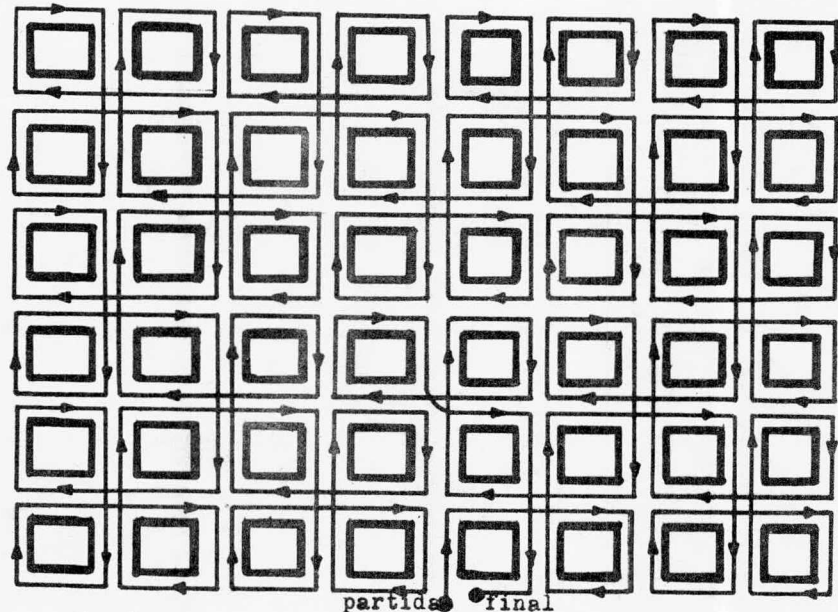


fig.7

En las tres figuras anteriores ,se muestran combinaciones de los patrones de 4 cuadros, recolectando en un solo lado de la calle. Cada ruta comienza en el medio del camino, inclinándose hacia un lado.

PATRON "C"

Configuración de 48 cuadros (6x8). Una vuelta a la izquierda y sin distancias muertas.

### CAPITULO 3

#### MÉTODOS DE DISPOSICION DE LOS DESECHOS SOLIDOS

*em*  
*→ Métodos de Disposición Final*  
Los métodos de disposición de los desechos sólidos pueden dividirse en dos grupos que son: métodos sanitarios y métodos no sanitarios.

#### 3.1.- METODOS NO SANITARIOS.

##### 3.1.1.- TIRADERO A CIELO ABIERTO.

Un tiradero a cielo abierto, es un sitio en el que los desperdicios urbanos son abandonados al aire libre por mas de un día, sin ser sometidos a ningún tratamiento.

Dependiendo de las condiciones del lugar y sus alrededores y debido al incremento del número de habitantes de las poblaciones, llega un momento en que el tiradero se encuentra dentro de los límites de la población lo que ocasiona serios problemas de salud. Los fuegos que se producen causan malos olores y humos molestos; además, los insectos y roedores encuentran condiciones favorables para su rápida multiplicación.



Como estos tiraderos reciben toda clase de materiales de desecho, en la mayor parte de ellos se practica la pepena (recolección de objetos de algún valor) en condiciones totalmente insalubres. A medida que la distancia al tiradero se acorta debido al crecimiento de la población, ésta práctica se hace más molesta para la comunidad y los problemas de salud pública se agudiza.

Cuando un tiradero se ubica en un sitio lejano del centro de generación de desperdicios (con la finalidad de evitar los problemas antes mencionados) el costo del transporte aumenta considerablemente.

Por todas éstas desventajas, se observa que este método no soluciona el problema de la disposición higiénica de los desechos sólidos, sino que lo incrementa.

### 3.1.2 TIRADERO AL MAR.

El método empleado para la disposición de los desechos en el océano, consiste en transportarlos en barcos de cualquier tipo o especialmente diseñados (los desechos están dentro de contenedores o tambores). Los contenedores son lanzados al mar (conteniendo los desechos) y son hundidos por medio de disparos de rifle o con hachas.

Grandes cantidades de desechos industriales han sido arrojados en el mar. En U.S.A., en 1970, se designaron 170 lugares en el mar, con el fin de depositarlos, se procuró que éstos lugares estuvieran lejos de las costas y los centros turísticos y pesqueros; todo esto se hizo pensando que el mar es una inmensa fosa que puede absor-

ber una infinita cantidad de contaminantes; esta idea ya ha sido desechada porque en los tejidos de algunas especies marinas (pingüinos entre otras) se han encontrado altas concentraciones de hidrocarburos clorados y metales pesados.

El problema de la contaminación marina por desechos radioactivos es evidente, por lo que las autoridades de los U.S.A. prohibieron, desde 1967, su lanzamiento al mar.

Según reportes de investigadores norteamericanos,-- los costos de disposición de desechos en el mar son del orden de 40- 500 pesos por tonelada para desechos voluminosos y desechos en contenedores, respectivamente.

Por los efectos nocivos a las especies marinas y -- por ende al hombre, considero que este método no soluciona el problema de la disposición sanitaria de los desechos sólidos.

### 3.1.3 ALIMENTO PARA CERDOS.

Los desechos de alimentos conocidos con el nombre de escamocha se han usado para la alimentación de cerdos. Para este proceso se requiere separar éstas basuras de las restantes; este es un medio económico para eliminar este tipo de basuras, pero permite la infección de los cerdos con diversos parásitos que pueden ser transmitidos al hombre. La pasteurización de estos desechos durante 30 minutos elimina los peligros pero no favorece sus propiedades alimenticias, pues los cerdos no aumentan de peso como cuando se alimentan con la escamocha cruda. Este método

do de disposición casi ha desaparecido debido a la disponibilidad y costo de alimentos industriales de gran rendimiento y facilidad de uso, además de la presión ejercida por las autoridades sanitarias.

Por lo expuesto anteriormente nos damos cuenta de que este método constituye un sistema de disposición nada sanitario ya que en lugar de resolver el problema, acrea otros, por ello y debido a que actualmente existen métodos de disposición sanitaria, nos avocaremos a explicar ampliamente los sistemas sanitarios.

### 3.2 METODOS SANITARIOS.

#### 3.2.1 RELLENO SANITARIO.

La definición más aceptada, es la propuesta por la sociedad americana de ingenieros civiles, que establece al relleno sanitario como un método de disposición de desechos en la tierra, sin creación de molestias o riesgos para la salud pública, mediante el uso de principios de ingeniería, para confinar los desechos al área práctica más pequeña, reduciendo éstos a su volumen práctico más pequeño y cubriéndolos con una capa de tierra al finalizar cada día de operación o a intervalos mas frecuentes, según sea necesario. Para desechos municipales, alimentos procesados y desechos farmacéuticos, la cubierta elimina los insectos y roedores que son vectores de enfermedades.

En un relleno sanitario, los materiales voluminosos tales como escombros de demoliciones, madera de construc-

ción y partes de maquinarias, son separados y posteriormente utilizados para la cubierta final lo que proporciona un mejor soporte para futuras construcciones.

## DISEÑO.

Para el buen funcionamiento de un relleno sanitario es necesario que exista un programa de información pública que explique en que consiste el relleno sanitario y los beneficios que reporta a la comunidad. Las personas encargadas de esta fase deben conocer las características y cantidades esperadas de desechos sólidos a tratar ya que conociendo esto, podemos conocer el tamaño del área del terreno y se puede decidir el uso posterior del sitio.

Para un buen diseño se aconsejan los siguientes pasos:

Vida Útil.-Para una vida útil de más de 10 años, las obras se consideran de carácter permanente; para un relleno sanitario de vida útil corta, el costo de las obras será menor. Para estimar la vida útil de un relleno, es necesario conocer:

- La cantidad de basuras
- Volumen por rellenar
- Densidad de las basuras en el relleno.
- Sistema de cubierta

Ejemplo:

Para una ciudad con 200 000 habitantes y una generación de 0.5 Kg/hab-día de basura, se dispone de un banco abandonado de 4 Has. y 6 metros de profundidad.

El volumen disponible es de  $40\ 000\ m^2 \times 6\ m = 240\ 000\ m^3 + 4\ Has.$

$\times 2\ m$  (de altura, debido a los asentamientos) o sea :

$$240\ 000\ m^3 + 80\ 000\ m^3 = 320\ 000\ m^3$$

Se considera una tasa de crecimiento de la pobl. de 3.5%

nual y una tasa de crecimiento de la generación de basuras de 1% anual por hab-día.

Años	1	2	3	4	4.5	5
Habitantes	200,000	207,000	214,245	221,743	229,504	229,504
Basura (Kg/hab-día)	0.50	0.505	0.510	0.515	0.520	0.520
Basura en ton/día	100.0	104.5	109.2	114.2	119.3	119.3
P.V.relleno (ton/m <sup>3</sup> )	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Vol.anual (m <sup>3</sup> )	52 143	54 489	56 940	59 547	32 881	62 206
Vol.acumulado (m <sup>3</sup> )	52 143	106 632	163 572	223 119	256 000	285 325

Se considera que el material de cubierta ocupa del 15-30% del vol. total; por lo que nuestro volumen disponible será (considerando 20% de material de cubierta)...

$$(320\ 000\text{m}^3) - (320\ 000 \times 0.20)\text{m}^3 = 256\ 000\ \text{m}^3$$

y al finalizar el cuarto año tendremos un vol. disponible de:  $256\ 000 - 223\ 119 = 32\ 881\ \text{m}^3$

la fracción de año que corresponde a este volumen es:

$$\frac{32\ 881}{62\ 206} = 0.528\ \text{de año} \quad \text{o sea:}$$

$$0.528 \times 365 = 193\ \text{días}$$

por lo tanto, la vida útil del relleno será de:

$$\underline{\underline{4.53\ \text{años}}}$$

Preparación del sitio.- Los gastos serán proporcionales a la vida útil del relleno.

Limpieza:- Consistirá en cortar árboles, pasto y hierba.

Caminos: El ancho de los caminos de acceso que van -

al centro de trabajo será de 7 metros aproximadamente, la pendiente para camiones cargados no debe ser mayor de 7% en subida, ni de 10 % en bajada. Las carpetas para ellos serán de acuerdo al tráfico de camiones que por ellos -- circulen y se necesitará drenaje y compactación; el radio de las curvas deberá ser mayor de 22 metros.

**Básculas:** Sirven para controlar las densidades de las basuras en el sitio y ayudan al control del servicio de limpia, mediante reportes al jefe de limpia. El tipo de básculas difieren dependiendo del tamaño del relleno y pueden ser portátiles de ruedas, o hasta electrónicas. Por lo general se utilizan las básculas de 30 toneladas para camiones normales.

**Edificios:** Al igual que las demás instalaciones, dependerán de la vida útil del relleno. Para los de vida corta, puede ser unicamente una caseta con báscula, escritorio y un lugar para cubrir la maquinaria. La oficina debe estar a la entrada para no interfiera en la operación.

**Servicios:** Varía desde el más simple hasta el más complejo, lo que dependerá del tamaño del relleno, su vida útil y el número de personal. En general se necesita un baño, un radio, teléfono y electricidad, además de una toma de agua para incendios.

**Bardas:** Su objeto es detener papeles y plásticos, así como impedir el paso de personas y animales. Además, es necesario contar con bardas móviles de 2-3 metros de longitud, que se moverán conforme avance el frente de -- trabajo.

**Control de las aguas superficiales.** -- Hay necesidad de desviar el agua para que no entre a los substratos de basura pues acelera su descomposición, pudiendo contami -

nar los mantos freáticos. Es necesario tener datos de intensidad de lluvias contra el tiempo, para poder diseñar el tipo de alcantarillado. Para ello se escoge una de las curvas de periodos de retorno, en función del peligro latente (no existe un criterio fijo).

Protección de las aguas subterráneas.- Nunca debe haber intercepción de los mantos freáticos con la basura. En caso de que el manto freático quede cerca de las capas de basura, es necesario impermeabilizar el fondo del relleno con arcilla o material sintético (PVC), bajar el nivel de las aguas construyendo barreras impermeables o construyendo pozos y sacando el agua. En todo relleno sanitario, es necesario colocar pozos de observación para conocer el nivel de la contaminación.

Control de gases.-En un relleno sanitario ocurre una descomposición anaeróbica de la basura.

Materia orgánica de la basura  $\longrightarrow$   $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{S} +$  mercaptanos

Según la reacción anterior, se producen gases como metano que es combustible en presencia de  $\text{O}_2$  cuando el primero se halla a una concentración del 5-15 %. El  $\text{CO}_2$ , no es combustible, pero se combina con el agua para formar el  $\text{H}_2\text{CO}_3$  que disuelve minerales produciendo dureza en el agua. Para resolver esto, es necesario colocar drenajes permeables o barreras impermeables; para el primer caso, se colocan tubos en varios puntos del relleno para dar salida a los gases, y para el segundo caso se pueden impermeabilizar los fondos y colocar en los extremos o en el centro del relleno, zanjas llenas con grava.

Métodos de relleno sanitario.- En el diseño del relleno sanitario es necesario especificar el tipo de método a seguir pues no hay uno que sea el mejor para todos -

los sitios. El método seleccionado depende de las condiciones físicas del terreno, cantidad y tipo de desechos a manipular.

Básicamente existen dos métodos que son el de trinchera y el de área y pueden utilizarse combinaciones de ellos. En general, el método de trinchera se usa para terrenos planos y/o lomeríos suaves y se recomienda para rellenos sanitarios pequeños. El método de área, se puede utilizar para cualquier tipo de terreno (plano, cañones, bancos, etc.) y se recomienda para rellenos sanitarios grandes.

Construcción de celdas y material de cubierta: El procedimiento común empleado para los dos métodos mencionados es la construcción de celdas. Todos los desechos sólidos recibidos, son esparcidos en capas dentro de un área determinada y al finalizar cada día de operación o más frecuentemente, se cubren con una capa delgada de suelo, que también se compacta. Los desechos y el material de cubierta compactados, constituyen una celda.

Las dimensiones de la celda son determinadas por el volumen de los desechos compactados que dependerá de la densidad de los desechos en el relleno. Se recomienda que la altura de la basura sea de 2-2.5 metros; para rellenos muy grandes, existen alturas de 5-10 metros. El ancho debe ser como mínimo dos veces el ancho de la cuchilla del tractor, se recomienda como máximo 50 metros y dependerá del flujo de vehículos y la cantidad de desechos; el largo será aproximadamente igual al ancho.

Ejemplo:

Un relleno sanitario recibe 300 TON/día de basuras, procedentes de una ciudad de 500 000 habitantes; el P.V. de la basura en el relleno es de  $0.7 \text{ TON/m}^3$  y la altura de la celda es de 2 metros.



Por lo tanto, el volumen será:  $\frac{300 \text{ TON/día}}{0.7 \text{ TON/m}^3} = 430 \text{ m}^3/\text{día}$

El ancho y largo serán:  $\sqrt{430/2} = 15 \text{ metros} \dots (1)$

Suponemos que cada vehículo realiza 2 viajes/día y c/vehículo transporta 4 TON/viaje por lo que la cantidad de vehículos es igual a:  $\frac{150 \text{ TON/viaje}}{4 \text{ TON/viaje-vehículo}} = 38 \text{ vehículos}$

De (1) el frente de trabajo será de 15 metros y si c/vehículo ocupa 3.20 m. cabrán 4 camiones descargando simultáneamente.

Método de trinchera: Los desechos son esparcidos y compactados dentro de una trinchera previamente excavada; el material de cubierta será tomado del suelo excavado y se esparcirá y compactará sobre los desechos para formar una celda. (fig. 8). Este método presenta ciertas limitaciones como son: - debe conservarse el nivel freático.

- el tipo de maquinaria limita la profundidad.
- el tipo de suelo.

Las trincheras deben ser perpendiculares a los vientos a fin de que éstos no saquen la basura, el ancho mínimo debe ser 2 veces el del equipo cuando está trabajando y es necesario poner topes para que no se caigan los vehículos. Varias comunidades de 10 000 a 20 000 habitantes pueden utilizarse para realizar un relleno de este tipo; pudiendo utilizarse únicamente el tractor, cuando se abra la trinchera y cuando ya está llena, para tajarla; mientras, el tractor puede estar realizando otros trabajos.

Método de área: En este método, los desechos son esparcidos y compactados en la superficie natural del terreno y se esparce entonces el material de cubierta que también será compactado. (fig. 9).

En la fig. 10 se ve una combinación de los 2 métodos.

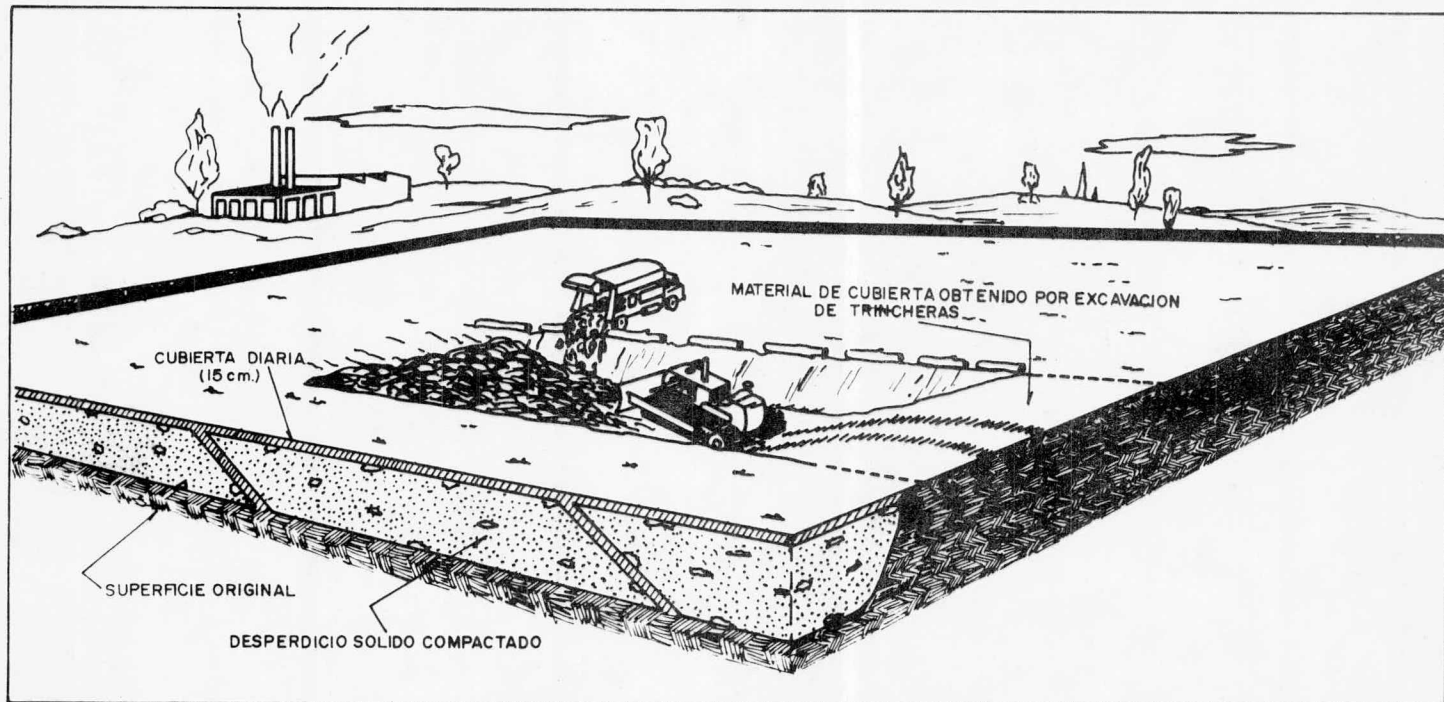


FIG. 8.- METODO DE TRINCHERA DE UN RELLENO SANITARIO

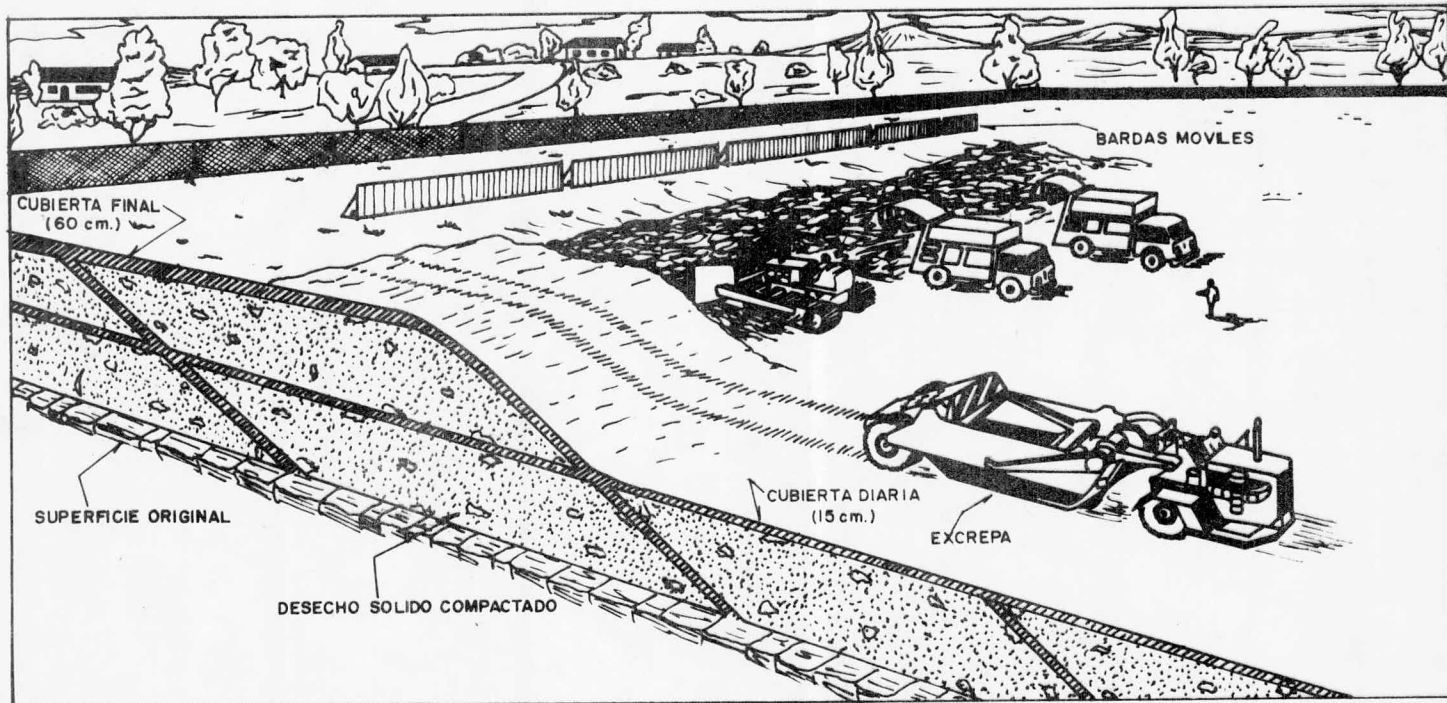


FIG. 9.- METODO DE AREA DE UN RELLENO SANITARIO

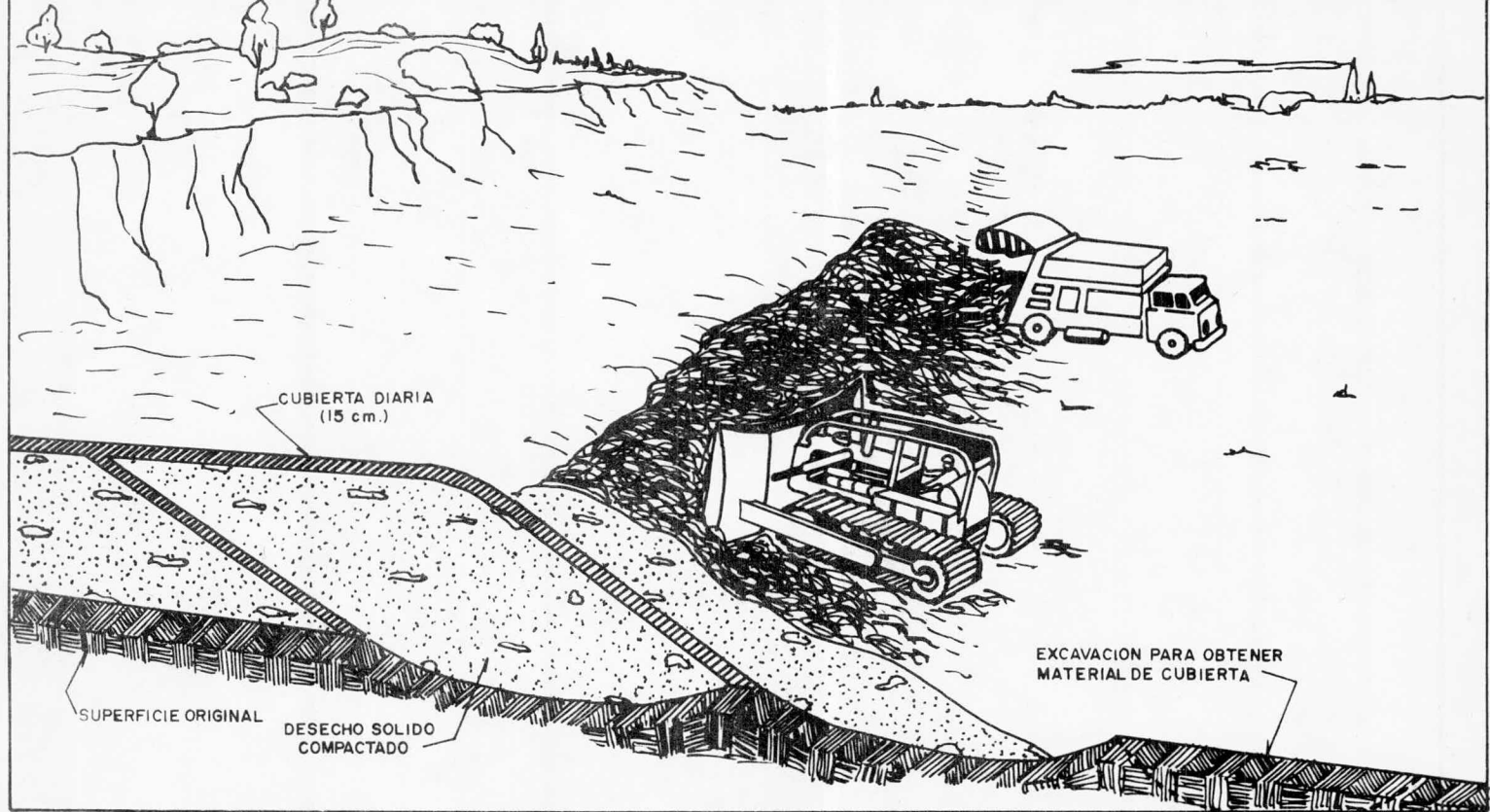


FIG. 10.- COMBINACION DEL METODO DE TRINCHERA CON EL METODO DE AREA

En todo proyecto de relleno sanitario debe describirse en detalle lo siguiente: (a) Instalaciones ; (b) procedimientos de operación y construcción; (c) requerimientos de equipo; (d) contaminación potencial y métodos de control; (e) consideraciones sobre drenaje, pendiente, caminos y uso posterior del relleno; (f) especificar el tipo de desechos que se puede aceptar; (g) costos estimados para adquisición o renta del terreno, costos de preparación, operación, de arreglo final, etc.

Es necesario que se presenten planos, fundamentalmente de tres tipos: (A) planos topográficos de localización que incluya el sitio y 300 m. alrededor del relleno; (B) planos topográficos de las secciones con su geología, etc. (C) planos de operación y avance programado.

En estos planos debe aparecer lo siguiente:

1. Caminos y carreteras;
2. Edificios;
3. Instalaciones;
4. Básculas;
5. Medidas contra incendios;
6. Drenaje superficial y subterráneo;
7. Perfiles geológicos;
8. Recolección y tratamiento de lixiviados;
9. Control de gases;
10. Edificios, instalaciones y usos del suelo, 300 m. alrededor del terreno;
11. Lagos, arroyos, ríos, pozos , 300 m. alrededor del terreno;
12. Bancos de préstamo de materiales;
13. Dirección de los vientos;
14. Areas de relleno y sitios para desechos especiales;
15. Secuencia de llenado;

16. Diseño de la entrada;
17. Bardas;
18. Aspecto estético final y su uso;

#### OPERACION.

Debe existir un plan de operación, el cual esencialmente contiene las especificaciones para su construcción, en el que debe describirse lo siguiente:

**Horario.**- Depende de las horas de recolección, normalmente abarca de 8-10 horas, aunque para ciudades muy grandes, generalmente se realiza las 24 horas del día, en este caso, el relleno no debe estar en áreas residenciales. En la entrada debe existir un letrero especificando el horario de trabajo, los días en que se recibe basura, tarifa, (si es que la hay), además deberá existir un teléfono para urgencias y contenedores fuera del relleno para los usuarios que no hagan uso de los camiones recolectores.

**Pesaje.**- Es una operación importante para el control de la operación, para el sistema de limpieza y para futuros diseños (P.V. de la basura compactada en el relleno). En base al flujo de camiones que llegan, existirán básculas manuales o automáticas. Generalmente para rellenos de más de 1000 TON/día, es necesario tener 2 ó más básculas.

**Tráfico y descarga .-** El tráfico de camiones en el sitio, puede afectar la eficiencia de operación diaria; para evitar esto, cuando haya muchos camiones, se dejarán pasar algunos directamente al relleno; debe existir señalamiento claro y adecuado en los caminos. Para rellenos muy grandes, será necesario dar mapas a los operadores; debe limitarse el uso de vehículos con descarga manual y es necesario un lugar para descargas de urgencia.

Manejo de basuras.- Dependerá del tipo de desechos - de que se trate.

Basuras normales: En las que se incluyen la doméstica, de comercios e industriales (cafeterías y restaurantes), se descargan y esparcen en capas de 50 cms. y a cada capa se le dan 2-3 pasadas con el tractor.

Desechos voluminosos: Como árboles, carros, refrigeradores, etc. se manejan con tractores de más de 10 TON, se colocan en el suelo y se les pasa el tractor; por lo general se colocan al pie del talud para evitar grandes problemas de asentamiento; si se presentan en grandes cantidades, se recomienda efectuar trincheras especiales; los desechos de demolición que no son muy voluminosos pueden usarse como cubierta de caminos.

Desechos institucionales: Como basuras de hospitales, escuelas, oficinas de gobierno, etc.; aunque por lo general los desechos hospitalarios son inofensivos ya que en el hospital queman los desechos tóxicos y orgánicos, su manejo si es peligroso, por la forma manual de recogerlos por lo que cuando llegan al relleno deben esparcirse y cubrirse con 30 cms. de material de cubierta.

Animales muertos: Como pájaros, gatos, perros, etc., deben manejarse de acuerdo a las leyes locales referentes a la forma de enterrarlos; pero cuando hay campañas, son necesarias fosas comunes; por lo general, al llegar los animales se les cubre con cal y 50 cms. de material de cubierta.

Basuras de procesos industriales: Es necesario llevar un informe en el que se especifique su estado (líquido, polvo, etc.), su cantidad y sus características físicas, químicas, bacteriológicas, etc.; en base a éste informe se decide si se aceptan o no, y como se incorporarán a las -

basuras y debe considerarse la seguridad del personal. Los productos caducos o de manufactura deficiente, deben destruirse rápidamente para evitar su circulación.

**Basuras volátiles o inflamables:** Como pinturas, fluidos, etc., cuando no son excesivamente volátiles, pueden disponerse con la demás basura, pero de no ser así, deben disponerse en sitios especiales bien señalados ("se prohíbe fumar", "explosivos", etc.).

**Lodos:** Cuando su humedad se ha reducido, pueden disponerse en un relleno. Los lodos con altos contenidos de humedad, se reciben siempre y cuando no afecten la humedad de la basura.

**Cenizas:** Son partículas pequeñas que salen por las chimeneas, se hacen pasar por ciclones, precipitadores electrostáticos, etc. y se llevan al relleno siempre que posean cierta humedad para que no se las lleve el viento.

**Recipientes de Pesticidas:** Abundan en las zonas agrícolas, deben aplastarse con la máquina y colocarse en la basura, los semivacos se almacenan hasta que se encuentre el método adecuado.

**Estiércol de establos:** Si está húmedo, debe mezclarse con la basura y debe cubrirse inmediatamente.

**Basuras radioactivas y explosivos:** Los desechos radioactivos no se aceptan y en el caso raro de que lleguen, debe llamarse a especialistas del ejército.

**Cubierta.-** Se hace con el material que exista y su espesor dependerá del tipo de material, del clima y la erosión del suelo. El material de cubierta empleado en un relleno sanitario se clasifica en: cubierta diaria, intermedia y final, y depende del espesor de la capa usada que a su vez dependerá de la susceptibilidad a la erosión por el agua y el viento. Una guía para usar las diferen--



tes clases de capas, está determinada por el tiempo de exposición de ésta a los elementos y se presenta a continuación:

Material de cubierta	Espesor mínimo	Tiempo de exposición
Diaria	15 cms.	0-7 días
Intermedia	30 cms.	7-365 días
Final	60 cms.	más de 365 días

Funciones de la cubierta diaria: Son evitar la proliferación de vectores como ratas, moscas, etc.; evitar fuegos, vuelo del material liviano y paso de la humedad.

Funciones de la cubierta intermedia: Son las mismas de la capa diaria y en ella se incluye el control de gases además que puede servir como base para superficie de rodamiento. Se compacta una capa de 15 cms. y luego otra igual. Cuando se destine a permanecer por mucho tiempo, necesita mantenimiento.

Funciones de la cubierta final: Son las mismas que las de las capas anteriores, además del uso final al que se haya destinado (sustentar vegetación, uso agrícola, construcciones, etc.). Se compacta en capas de 15-20 cms., deberá tener toda la conformación adecuada como es el bombeo, y la pendiente.

Mantenimiento.- Es una de las cosas que diferencia al relleno sanitario del tiradero a cielo abierto. Las arcillas y limos generalmente producen polvos molestos para el personal por lo que puede utilizarse el riego que puede ser de Cloruro de calcio para lugares donde la humedad relativa sea mayor de 30% ( $200-400 \text{ g de CaCl}_2/\text{m}^2$ ), de aceite quemado ( $1-5 \text{ l}/\text{m}^2$ ), o bien pueden utilizarse baños de asfalto o cemento.

Para lugares donde haya mucha basura suelta hay necesidad de que el frente de trabajo sea pequeño y debe cu -

brirse la basura conforme avanza la obra, deben colocarse bardas en el frente y bardas perimetrales; deben efectuarse campañas periódicas de limpieza en los alrededores.

Debe darse mantenimiento al equipo lo que debe estar especificado en el plan de operación.

Generalmente, las ratas que existen en el relleno, llegan en los vehículos por lo que es necesario que existan programas de control de roedores, en general se usan anticoagulantes; estas campañas deben durar de 2-3 semanas y deben ser periódicas.

Un problema frecuente en época de calor es la mosca, por lo que es necesario aplicar diariamente insecticidas como malatión (0.7 Kg/Ha) o Diclorous (0.35 Kg/Ha.); el personal encargado del riego debe rotarse y evitar el contacto con el insecticida.

En caso de que se presenten pájaros, es necesario colocar espantapájaros, hacer ruidos y reducir el frente de trabajo además de cubrir rápidamente los desechos.

No debe permitirse la quema y toda máquina debe contar con extinguidor; tampoco debe permitirse la pepena, pero en caso de que así sea debe reglamentarse para no perjudicar la operación y la salud del personal.

## EQUIPO

Existe gran variedad en el mercado; tanto el tamaño como el tipo y número, dependerá del tamaño y método de operación así como de la experiencia de operadores y diseñadores.

Funciones del equipo.-Consisten en el manejo de las basuras y la cubierta, además de otras funciones de apoyo.

Manejo de las basuras: Es similar al de las tierras, solo que las basuras son menos densas, se usa equipo nor -

mal para manejo de tierras pero con accesorios.

Manejo de cubierta: Sus funciones son la excavación, acarreo, distribución y compactación. El equipo puede ser de llanta o de oruga y es similar al del manejo de tierra.

Funciones de apoyo: Son el mantenimiento de caminos, el control de polvos, de incendios y la asistencia a vehí-  
culos recolectores.

Tipos y características del equipo.-

Tractor de oruga: El de cuchilla es el más adecuado, pero también puede utilizarse el tipo cargador frontal, - que es útil para acarreo del material. La oruga por lo ge-  
neral tiene buena flotación y tracción, es muy útil para-  
excavación y puede desplazarse en suelos difíciles. Su -  
máxima velocidad trabajando, es de 13 Km/hr.

Tractor de llanta: Puede ser con cuchilla o con car-  
gador frontal, su máxima velocidad de operación es de 45  
Km/hr.; no son muy buenos para excavar y su tracción tam-  
poco es buena, pero existen cubiertas y cuerdas de acero,  
con las que pueden reforzarse las llantas.

Otros: Con frecuencia se utiliza también la motoes -  
crepa, que es especial para excavar, acarrear y distribu-  
ir así como la draga que se utiliza para excavar en luga-  
res pantanosos y para el método de trinchera.

Accesorios:

Bastidor de extensión de las cuchillas;  
Barras de protección del tractor y del operador;  
Malla de protección para el radiador;  
Protección o techo contra el sol;  
Alarma de reversa en los tractores;  
Rasgador hidráulico para suelos semiduros;  
Contrapeso de acero o concreto para dar mayor tracción.

Para pequeños rellenos se puede utilizar una sola má

quina; el equipo más versátil es el de cargador frontal-- de llantas pero en caso de que no se necesite para car--- gar camiones con material de cubierta, resulta mejor uti- lizar una oruga con cuchilla. Debe preverse que se hará- en caso de descompostura. Para rellenos muy grandes gene- ralmente se usa maquinaria especializada aunque es mas -- fácil seleccionar maquinaria de múltiples operaciones.

#### CARACTERISTICAS DE UN RELLENO SANITARIO TERMINADO.

Uno de- los mayores beneficios que nos brinda el relleno, es el- mejoramiento de las tierras para su posterior utilización que puede ser muy variada y debe planearse antes de comen- zar la operación.

Descomposición.- Los alimentos son los primeros en - descomponerse, para dar ácidos orgánicos que ayudan a la- descomposición de otros desechos; el papel se descompon- lentamente; los autos y línea blanca se descomponen por o- xidación; el hule y plástico pueden o no descomponerse.

Densidad.- Depende de la composición inicial, del nú- mero de capas y de la compactación de las basuras y del - rodamiento del equipo. En México se ha hallado que varía- de 600-1000 Kg/cm<sup>3</sup>.

Asentamientos.- Se deben a la descomposición y a la compactación por sobrecarga.

Resistencia.- Varía dese 0.25 a 0.40 kg/ cm<sup>2</sup>.

Gases.- Para ellos es necesario considerar sistemas- de escape.

Uso final.- Como ya se dijo debe planearse de antema- no, y puede consistir en:

Area verde: Casi no requiere inversión posterior a - la de cubierta, el espesor de la capa final dependerá del

tipo de pasto, en general es suficiente con 60 centímetros.

**Agricultura:** Para ésto, hay que poner una cubierta de suelo orgánico; debe tomarse en cuenta el tamaño de las raíces, pues si son mayores de un metro como es el caso de las del maíz y trigo, pueden quemarse con los gases, por lo que el espesor de la capa debe ser mayor del metro.

**Recreación:** Puede utilizarse para campos deportivos, como canchas de tenis, beisbol y golf, los que necesitarán mantenimiento constante.

**Construcción.-** Es necesario contratar especialistas y los costos son elevados ya que hay que considerar el uso de pilotes, cimentación flotante y drenes para los gases. El pavimento debe ser flexible por lo que puede utilizarse grava o asfalto, siendo mejor la grava ya que permite la libre salida de los gases.

## COSTOS.

Los costos de un relleno sanitario consisten principalmente de una inversión inicial para adquirir tierra, equipo y para las construcciones más importantes, así como los costos de operación.

**Inversión inicial.-** Los principales detalles que la constituyen son:

- 1) Terreno.
- 2) Planeación y diseño.
  - a. Diseñador.
  - b. Estudio sobre los desechos sólidos.
  - c. Investigación del sitio.
  - d. Diseño, planos y especificaciones.
- 3) Acondicionamiento del sitio.
  - a. Limpieza.
  - b. Vías de acceso.

- c. Servicios de agua, electricidad y teléfono.
- d. Señales y vallas.

4) Servicios.

- a. Administración.
- b. Mantenimiento de equipo.
- c. Saneamiento.

5) Equipos y maquinaria.

A menudo una parte de la inversión inicial, como son terreno y equipo, puede recuperarse al completarse el relleno sanitario.

Costos de operación.- Dependen del método de operación, de su eficiencia y del equipo. Entre sus principales constituyentes tenemos:

1) Personal.

2) Equipo.

- a. Gastos de operación.
- b. Mantenimiento y reparaciones.
- c. Renta (depreciación o amortización).

3) Material de cubierta y costos de transportación.

4) Administración y gerencia.

5) Servicios (como seguros, drenaje y mantenimiento de las vías de acceso).

Para mayor claridad, veremos un ejemplo que se puede aplicar al suelo mexicano, para servir a una población de 200 000 habitantes, y con una generación de 0.5 Kg/hab-día.

Renta	\$ 40 000 /año
Barda	\$ 80 000
Edificios (pequeña oficina, baño y tejamanillo (25 m <sup>2</sup> x \$1200/m <sup>2</sup> ))	\$ 30 000
Drenajes	\$ 50 000
Preparación y desmonte	\$ 50 000
Báscula	\$125 000

Si la vida útil se considera de 4 años, entonces la inversión inicial será:

Renta	40 000 \$/año
Barda	20 000 "
Edificios	7 500 "
Drenaje	12 500 "
Preparación y desmonte	12 500 "
Báscula	31 250 "
	<hr/>
	123 750 \$/año

costo por tonelada :

$$\frac{123\ 750\ \$/\text{año}}{(100\ \text{TON}/\text{día})(365\ \text{días}/\text{año})} = 3.40\ \$/\text{TON}$$

Personal:

1 encargado	3 000 \$/mes
1 basculista	2 500 "
1 peón	2 000 "
	<hr/>
	7 500 \$/mes

$$(7\ 500\ \$/\text{mes})(12\ \text{meses}/\text{año})(1.3\ \text{prestaciones}) = 117\ 000\ \$/\text{año}$$

costo por tonelada :

$$\frac{117\ 000\ \$/\text{año}}{(100\ \text{TON}/\text{día})(365\ \text{días}/\text{año})} = 3.20\ \$/\text{TON}$$

Tractor:

El costo del tractor D-4 es de \$ 625 000

Depreciación =  $\frac{\text{Costo equipo} - \text{valor de rescate}}{\text{vida útil}}$

$$\begin{aligned} \text{Vida Útil} &= (2\ 500\ \text{hr}/\text{año}) (4\ \text{años}) \\ &= 10\ 000\ \text{horas} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la depreciación será:

$$\begin{aligned} &= \frac{625\ 000 - (0.2 \times 62\ 500)}{10\ 000} \\ &= 50.00\ \$/\text{hr} \end{aligned}$$

Interés medio anual:

$$\left(\frac{n+1}{2n}\right) (I) (C) = \text{I.M.A.}$$

Donde:

n = vida útil

I = interés que se considera de 18 % anual

$$\text{I.M.A.} = \frac{(5/8)(0.18)(62\ 500)}{2\ 500 \text{ hr/año}} = \underline{28.12 \text{ \$/hr}}$$

Operación y mantenimiento: Estos datos los debe proporcionar el fabricante.

Combustible: (10 l/hr)(0.50 \\$/l)	= 5.00 \\$/hr
Lubricación,grasa y aceite	= 3.00 "
Mantenimiento(80% de la depreciación anual)	
(0.80)(50 \\$/hr)	=40.00 "
Tractorista	=25.00 "

Costo por tonelada:

$$\frac{151.12 \text{ \$/hr} \times 2\ 500 \text{ hr/año}}{100 \text{ TON/día} \times 365 \text{ días/año}} = \underline{10.35 \text{ \$/TON}}$$
$$3.40 - 3.20 - 10.35 = \underline{16.95 \text{ \$/TON}}$$

La inversión inicial será:

$$123\ 750 + 625\ 000 = \underline{\$ 748\ 750}$$

El costo de operación:

$$16.95 - 3.22 - 3.42 = \underline{10.31 \text{ \$/TON}}$$

$$\frac{50.00 \text{ \$/hr} \times 2\ 500 \text{ hr/año}}{100 \text{ TON/día} \times 365 \text{ días/año}} = \underline{3.42 \text{ \$/TON}}$$

$$10.31 \text{ \$/TON} \times 100 \text{ TON/día} \times 365 \text{ días/año} = \underline{376\ 315 \text{ \$/año}}$$

Entonces, la inversión inicial será de:

$$\underline{\underline{\$ 748\ 750}}$$

y el presupuesto anual, durante 4 años

será de:

$$\underline{\underline{\$ 376\ 315}}$$

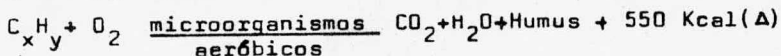


### 3.2.2 COMPOSTA.

El método de composteo, consiste en una descomposición biológica de los constituyentes orgánicos de los desechos, bajo condiciones controladas de ingeniería; dando como producto, un material que se usa como acondicionador de suelos.

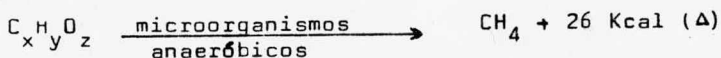
Existen 2 tipos de descomposición biológica: la aeróbica y la anaeróbica.

Descomposición aeróbica.- Se caracteriza por altas temperaturas, ausencia de olores y por ser más rápido que el proceso anaeróbico. Resulta de la oxidación del material orgánico; la reacción representativa del proceso sería la siguiente:



En ella intervienen bacterias, hongos y actinomicetos aeróbicos tanto facultativos como obligados. Se ha encontrado que las bacterias están presentes desde el empezo del proceso y son las más activas, atacan a los productos de fácil descomposición como son carbohidratos y proteínas. Los hongos aparecen entre el 7-10 día y los actinomicetos hacia el final del proceso; ambos atacan a los productos de difícil descomposición como son celulosa y lignina.

Descomposición anaeróbica.- Es efectuada más lentamente que la aeróbica, a más bajas temperaturas y produce olores desagradables. Se lleva a cabo según la siguiente ecuación:



En la actualidad se recomienda el proceso aeróbico, pues en él se alcanzan altas temperaturas (65-70°C) que

matan a los microorganismos patógenos presentes en las basuras y es más rápido que el proceso anaeróbico. Algunos microorganismos patógenos presentes en las basuras y que mueren durante el proceso aeróbico son:

Entamoeba histolítica a 45°C en pocos minutos ; a 55°C en pocos segundos.

Mycobacterium diphteriae a 55°C en 45 minutos.

Mycobacterium tuberculosis a 66°C en 15-20 minutos.

Salmonella typhosa a 46°C no se reproduce y a 55-60°C muere en 30 minutos.

Shigella a 55°C muere en 1 hora.

El proceso de fermentación de desechos se ha venido usando por campesinos y jardineros en forma primitiva desde hace siglos en todo el mundo. El método más general -- consiste en la acumulación de estiércol y residuos vegetales en montones, sobre espacios de tierra en la que se dejan reposar durante tiempo suficiente para que se lleve a cabo la fermentación; después éste material se aplica al terreno. Este proceso requiere 6 meses a un año y no necesita cuidados, excepto que debe voltearse todo el material una o dos veces al año.

Con el paso de los años, se empieza a mecanizar este proceso y es así como surgen las siguientes variantes:

Método Earp-Thomas.- Este proceso consiste de un digestor de múltiples platos en el cual se produce composta en siete días, mediante la inyección de aire y controlando la humedad.

Proceso Dano.- Consiste en un tambor rotatorio horizontal de gran longitud, que se halla ligeramente inclinado y equipado para inyectar aire, aplicar humedad y controlar la temperatura.

Proceso V.A.M. .- Es un proceso Holandés en el que las basuras llegan por tren y se acomodan en pilas, se rocfan con agua y después de seis meses, pasan a molienda y cernido.

Plantas industrializadoras.- Es el proceso de composta que se sigue en México y que más adelante trataré con detalle.

Panorama mundial:

Estados Unidos : De 10 plantas que se han construido, ninguna se halla funcionando actualmente.

Francia: Están en declive.

Holanda: Existen 3 plantas y se hallan funcionando en la actualidad.

Suiza: Actualmente están cerrando las que había

México: Existen 4 plantas, una en Guadalajara , una en Monterrey, otra en Toluca y otra en el Distrito Federal; de ellas la de Guadalajara no se halla en actividad.

Factores limitantes del proceso.- Entre ellos está el tipo de desechos; generalmente la parte orgánica sujeta a descomposición biológica prevalece en los desechos domésticos, y su cantidad varía de una población a otra , pudiendo constituir desde el 10 al 80 por ciento del total de los desechos; por este hecho, el éxito de cualquier operación basada en el tratamiento biológico de las basuras, dependerá en gran parte de la disponibilidad de materia orgánica o a la agregación apropiada de materiales coadyuvantes del proceso.

La cantidad relativa de carbón y nitrógeno es importante para el control de calidad del producto resultante, y de la descomposición de los desechos, ya que la aplica-

ción de un producto que no ha sido degradado completamente previo a su uso como acondicionador de suelos, hará - que una cantidad de nitrógeno disponible en el suelo desa parezca al ser utilizado por la composta, para terminar - el proceso. Se recomienda una relación C/N de 20- 30 pues favorece la descomposición.

Los desechos sólidos son de formas y tamaños diferentes al ser recolectados, lo que hace difícil su manejo, - por lo cual es necesario triturarlos por lo menos una vez antes de pasar a la planta de tratamiento (partículas de 5-10 cms.), con lo que se obtienen mejores resultados. El tamaño de las partículas es importante por las siguientes razones:

- a. Aumenta grandemente la superficie de contacto para el ataque microbiano.
- b. Permite la mezcla de los desechos creando una masa homogénea.
- c. Rompe la estructura original y distribuye el contenido líquido.

Es importante el contenido de humedad, teóricamente el 100 % sería lo adecuado, pero no es posible ya que el va los costos; el contenido de humedad puede aumentarse o disminuirse dependiendo de la naturaleza de los desechos, pero se recomienda que sea de 50-55% y se considera que - cuando el contenido baja al 12%, el proceso cesa.

Es necesaria la presencia de oxígeno ya que es vital para los microorganismos que intervienen en el proceso; la cantidad de oxígeno requerida para el proceso biológico - aeróbico de los desechos es determinada por la capacidad de utilización del mismo por la masa.

La temperatura de la masa, deberá mantenerse entre - 60-65°C, a fin de obtener una adecuada descomposición al

crearse el medio ambiente necesario para los microorganismos termofílicos, además de que las altas temperaturas:

- a. Destruyen a los organismos patógenos.
- b. Destruyen larvas y huevos de insectos.
- c. Destruyen malas hierbas y semillas vegetales.

La acidez o alcalinidad es un método indirecto, rápido y conveniente para determinar el avance del proceso de digestión. En un principio, el pH se reduce debido a la -- producción de ácidos orgánicos y al finalizar la operación --, debe andar en un rango de pH de 7-8.

Plantas industrializadoras.- Se mencionan las plantas industrializadoras de basuras ya que son las que se han empleado con más éxito, además de que es el método seguido en México por su economía.

Descripción del proceso: En la fig. 10 A se muestra una planta industrializadora de desechos sólidos.

#### OPERACION.

Consta esencialmente de los siguientes puntos:

Pesaje.- Deben existir básculas (ver lo referente a ello en relleno sanitario).

Almacenamiento o recepción.- Debe tener una capacidad mínima, de manera que aloje por lo menos los desechos de medio día de operación (4 hrs.) pero por seguridad debe planearse para los desechos de un día de operación (8 horas).

Principalmente puede ser de tres formas a saber: -

Tolva de almacenamiento: debe calcularse el volumen necesario y su largo estará sujeto al número de camiones que lleguen simultáneamente.

Tolva de piso móvil: consta de una tolva, pero el pi

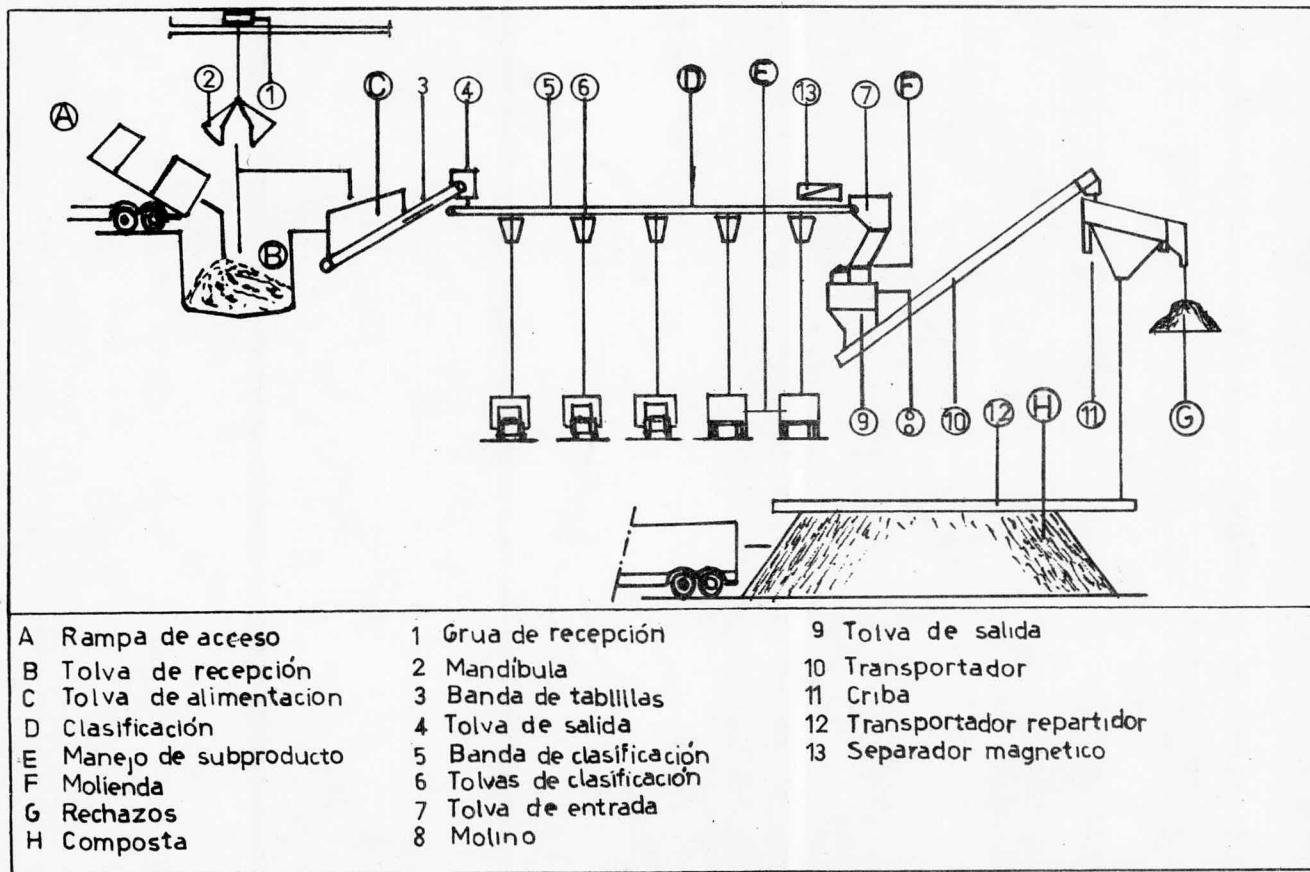


FIG. 10A DIAGRAMA DE UNA PLANTA INDUSTRIALIZADORA DE BASURAS

so es una banda transportadora; es de poca capacidad, la que varía de 50-200 m<sup>3</sup>, y tiene una velocidad de 1 m/min. se utiliza para plantas pequeñas.

Plataforma: Consiste en depositar la basura sobre una plataforma móvil que dosifica la basura a otra banda - móvil que la lleva a clasificación.

Clasificación.- Esta puede ser tanto manual como mecánica o mixta. La clasificación manual tiene como principal función separar el material que tiene algún valor así como el que es nocivo para el proceso de composteo; se efectúa con una banda de selección a cuyos lados se encuentra el personal seleccionador. Dentro de la mecánica, tenemos la balística que tiene como función separar los desechos por su diferencia de peso, al hacerlos pasar por una banda y dependiendo de su velocidad y del peso de los desechos, éstos seguirán una trayectoria balística; también por gravedad y por medio de aire pueden separarse los desechos en función de su peso, la separación por medio de aire consiste en introducir la basura en ductos e inyectar por el fondo aire a distintas velocidades; para separar metales, se utiliza el electroimán, para lo que se usa generalmente una banda imantada que atrae a los metales.

En México se utiliza el sistema mixto que consiste en la separación manual de los desechos y en el uso del electroimán; los principales subproductos que se recuperan aquí son: papel, metales ferrosos y no ferrosos, textiles, vidrio y plástico.

Molienda.- Es un requisito indispensable y los molinos que en ella se utilizan pueden ser de martillos, cuchillas, de tambor rotatorio con tiempos de retención grande (2-5 días) o pequeño (1-2 hrs.). El molino constituye la parte medular de una planta, determina la capacidad

de producción, es el equipo que consume mas energía y en el caso de los molinos de martillos, se necesita reponer constantemente los martillos; el molino de cuchillas se utiliza cuando las basuras no contienen metales o artificios muy densos.

Apilado.- Puede ser manual, semimecanizado o mecanizado. Los limitantes del apilado son la altura y el largo que dependen del equipo que se utilice.

Cribado.- Este puede ser efectuado al inicio, en un punto intermedio, o al final del proceso; la criba puede ser rotatoria o vibratoria; dependiendo del uso que se vaya a dar a la composta, será necesario cribarla una o mas veces.

Almacenamiento.- Cumple con dos funciones a saber: maduración y el almacenamiento propiamente dicho. Debido a que la demanda de composta es estacional, es necesario proveer cuidadosamente las áreas de almacenamiento.

#### COSTOS.

Para efectos de cálculo, tomaremos como base , - 400 ton/día de basura procesada (Planta de San Juan de Aragón , D.F. ) considerando 250 días/año de operación.

Depreciación.- Involucra principalmente tres factores.

<u>Concepto</u>	<u>Inversión</u>	<u>Vida Útil</u>	<u>Depreciación anual</u>
Obra civil	25 000 000	15 años	1 667 000
Maquinaria	16 000 000	15 años	1 067 000
Equipo móvil	3 000 000	3 años(2-3 turnos/día)	1 000 000

$$\frac{3\ 734\ 000\ \$/\text{año}}{100\ 000\ \text{ton/año}} = \underline{\underline{37.34\ \$/\text{ton}}}$$



Intereses.- Suponemos el diez y ocho por ciento .

$$I.M.A. = \frac{(n + 1)}{2n} \times \text{capital} \times \text{interés.}$$

$$I.M.A. (15 \text{ años}) = \frac{15 + 1}{30} \times 41\,000\,000 \times 0.18 = 3\,936\,000 \text{ \$/año}$$

$$I.M.A. (3 \text{ años}) = \frac{3 + 1}{6} \times 3\,000\,000 \times 0.18 = \frac{360\,000}{4\,296\,000} \text{ \$/año}$$

$$\frac{4\,296\,000 \text{ \$/año}}{100\,000 \text{ TON/año}} = \underline{42.96 \text{ \$/TON}}$$

Mantenimiento.

Maquinaria

$$10.00 \text{ \$/TON} \times 100\,000 \text{ TON/año} = 1\,000\,000 \text{ \$/año}$$

Obra civil

1% de la inversión inicial

$$25\,000\,000 \times 0.01 = 250\,000 \text{ \$/año}$$

Equipo móvil

80% de la depreciación anual

$$1\,000\,000 \times 0.80 = \frac{800\,000 \text{ \$/año}}{2\,050\,000 \text{ \$/año}}$$

$$\frac{2\,050\,000 \text{ \$/año}}{100\,000 \text{ TON/año}} = \underline{20.50 \text{ \$/TON}}$$

Energía y combustible.- Datos proporcionados por el fabricante según la experiencia.

La maquinaria consume 18 KWH/TON procesada

$$18 \text{ KWH/TON} \times 100\,000 \text{ TON/año} \times 0.30 \text{ \$/KWH} = 540\,000 \text{ \$/año}$$

Los tractores consumen 10 l/h de combustible (equipo móvil)

$$2 \text{ tractores} \times 10 \text{ l/h} \times 0.50 \text{ \$/l} \times 16 \text{ h/día} \times 250 \text{ días/año} = 40\,000 \text{ \$/año}$$

Lubricantes, grasas y filtros = 24 000 \\$/año

Lo anterior hace un total de 604 000 \\$/año

$$\frac{604\,000 \text{ \$/año}}{100\,000 \text{ TON/año}} = \underline{6.04 \text{ \$/TON}}$$

Personal.

Peones

205 peones x 76 \$/día x 365 días/año x 1.3 = 7 400 000\$/año

personal administrativo y técnico

85 personas x 4000 \$/mes x 12 meses/año x 1.3

= 5 300 000\$/año

12 700 000\$/año

$$\frac{12\ 700\ 000\ \$/\text{año}}{100\ 000\ \text{TON}/\text{año}} = \underline{127\ \$/\text{TON}}$$

El costo anual de operación es de \$ 23 384 000

El costo por tonelada procesada, es de 233.84

INGRESOS.

1) Subproductos.

Papel ..... 3% (100 000 TON/año)

= 3 000 TON/año x 300 \$/TON = 900 000 \$/año

Plásticos ..... 1% (100 000 TON/año)

= 1 000 TON/año x 800 \$/TON = 800 000 \$/año

vidrio ..... 4% (100 000 TON/año)

= 4 000 TON/año x 200 \$/TON = 800 000 \$/año

Fierro ..... 2% (100 000 TON/año)

= 2 000 TON/año x 350 \$/TON = 700 000 \$/año

Tropos ..... 1% (100 000 TON/año)

= 1 000 TON/año x 1 000 \$/TON = 1 000 000 \$/año

4 200 000 \$/año

2) Composta.

El 50% de la basura que entra a la planta, se le como composta, por lo que tenemos 50 000 TON/año; el precio de venta es de 100 \$/TON, entonces:

50 000 TON/año x 100 \$/TON = 5 000 000 \$/año

Se observa que el total de ingresos por año es de: \$ 4 200 000, siendo los egresos de \$ 23 384 000.

El costo neto es:

$$233.84 - 92.00 = 141.84\ \$/\text{TON}$$

Se observa que el costo por tonelada es mayor al del relleno sanitario.

### 3.2.3 INCINERACION.

La incineración es un proceso de combustión controlada, utilizado para quemar los desechos sólidos, líquidos, y gaseosos, pasándolo a dióxido de carbono, agua y cenizas. El agua y los gases pueden descargarse a la atmósfera, pero los residuos pueden contener vidrios, metales y materiales no combustibles que deben disponerse en un relleno sanitario. Los compuestos que contienen nitrógeno, y/o azufre, producen sus correspondientes óxidos y no deben incinerarse sin considerar sus efectos sobre la calidad del aire. Los hidrocarburos halogenados corroen el incinerador y deterioran también la calidad del aire.

El proceso de incineración permite reducir en un 80-90 % el volumen original de los desechos, generalmente reduce su peso original en un 75-80 % o sea que es un proceso de reducción de volumen. Los desechos sólidos incinerados y luego compactados en un relleno, pueden ocupar solamente un 4-10 % de su volumen original; si antes de incinerar se recupera material, entonces se reduce más el volumen de los desechos.

La incineración fué un método muy utilizado en los Estados Unidos (ahí, en 1970, el 8% de la basura recolectada fué incinerada), pero actualmente se ha abandonado, por que al comparar los costos cuando hay opción de un relleno sanitario, éstos resultan muy altos; además, cada día las autoridades son más estrictas en cuanto a las medidas de control de contaminación del aire, lo que hace que se incrementen los costos de incineración.

Descripción del proceso.- El proceso de combustión, ocurre en el horno del incinerador, el que incluye parillas y cámaras de combustión; existen numerosos diseños de hornos y los más usados en la incineración de los desechos sólidos son hornos verticales, rectangulares o rotatorios, sin embargo, el volumen requerido se diseña en base a la cantidad de calor generado por las basuras. En la fig.No. 11, se presenta el diagrama de una planta incineradora.

Ejemplo: En U.S.A. se utiliza como factor de diseño, 3150-6300 Kcal ft<sup>3</sup>/h; para nuestro cálculo consideraremos la media o sea: 4725 Kcal ft<sup>3</sup>/h.

En México se ha hallado que la basura libre de materia inorgánica, molida y secada en horno, produce 3000 Kilo calorías por Kg; entonces suponemos que la basura tal como llega a la planta producirá 1 500 Kcal/Kg.

Para dimensionar la cámara de combustión, consideramos un horno que queme 480 TON/día y suponemos que la planta trabajará 24 hr/día, por lo que quemará 20 TON/h, o sea 2000 kg/h.

$$\frac{2000 \text{ Kg}}{1 \text{ h}} \times \frac{1500 \text{ Kcal}}{1 \text{ Kg}} = 30\,000\,000 \text{ K cal/h}$$

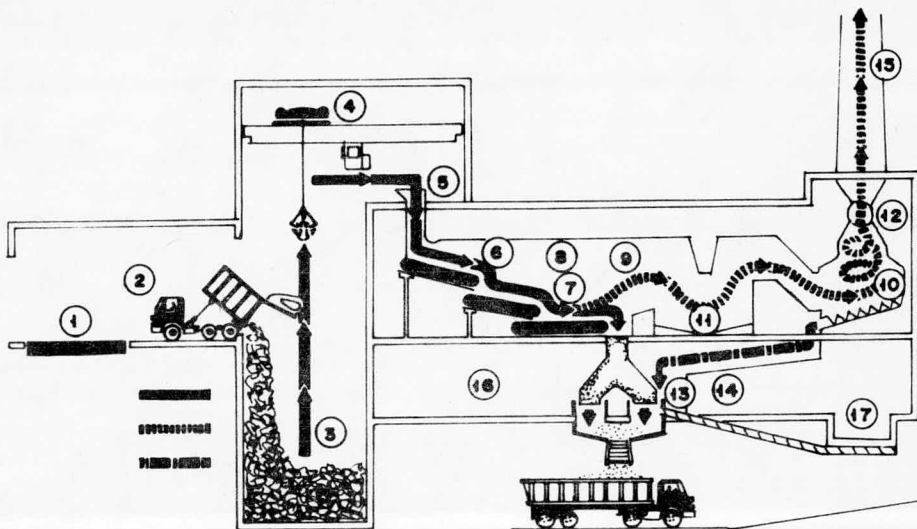
por lo tanto, el volumen será:

$$\frac{30\,000\,000 \text{ K cal/h}}{4\,725 \text{ K cal/h-ft}^3} = 6\,350 \text{ ft}^3$$

$$6\,350 \text{ ft}^3 \times 0.0283 = 179.7 \text{ m}^3 \approx 180 \text{ m}^3$$

entonces, las dimensiones podrían ser: 6m x 6m x 5m

Los desechos sólidos son descargados a través de una puerta o tapa colocada en la parte superior del horno y caen sobre una parrilla de un cono central, las rejillas transportan los desechos a través del horno; algunos materiales inertes tales como botellas de vidrio y botes de metal, ayudan a la combustión debido a que aumentan la po



1. BASCULA
2. TOPE DEL PISO
3. TOLVA DE RECEPCION
4. GRUA
5. TOLVA CARGADORA
6. PARRILLAS DE SECADO
7. PARRILLAS DE QUEMADO
8. CAMARA DE COMBUSTION PRIMARIA
9. CAMARA DE COMBUSTION SECUNDARIA

10. CICLON COLECTOR DE POLVOS
11. CAMARA DE ESPREADO
12. ABANICO DE TIRO INDUCIDO
13. TRANSPORTADOR DE CENIZAS
14. ABANICO DE TIRO FORZADO
15. CHIMENEA
16. GARAJE
17. CAMARA DE SEDIMENTACION DE CENIZAS

FIG. 11.- DIAGRAMA DE UNA PLANTA INCINERADORA

rosidad de las capas. La alimentación puede ser continua o intermitente. Los residuos pueden ser recolectados por medios mecánicos hacia un área de recolección o en algunos casos, regresar nuevamente al horno.

El proceso de combustión ocurre en dos etapas: Combustión primaria en la que ocurren cambios fisicoquímicos cercanos a las capas de combustibles y que consiste de secado volatilización e ignición de los desechos sólidos, y la combustión secundaria que logra la combustión de los desechos no quemados en el horno, así como de partículas de carbón suspendidas en los gases y además elimina olores; para que exista la combustión secundaria es necesaria una temperatura suficientemente alta, abundante aire y una corriente de gas que sea turbulenta.

Antes de que pase el aire a los aparatos de control de la contaminación del aire, los gases deben enfriarse a una temperatura que vaya de 260-370°C, lo que se logra introduciendo exceso de aire o inyectando agua dentro de la corriente de gas caliente. Para seguridad en la operación, se usan materiales refractarios además de combustible auxiliar.

Cuando se pone en funcionamiento un horno con corriente de aire inducida, éste alcanza temperaturas de 760-980° centígrados, en una hora; los hornos de corriente de aire natural requieren para lo mismo, de 4 horas.

Requisitos de un incinerador.- Para que pueda operar adecuadamente una planta incineradora, es necesario que se reúnan los requisitos que a continuación se mencionan:

1. Local: Puede estar dentro de la ciudad, pero de acuerdo con el plano regulador, generalmente estará en la zona industrial.

2. Báscula: Lo mismo que se dijo para relleno sanitario.

3. Tolvas de recepción y almacenamiento: Igual que para plantas industriales.

4. Parrillas: Estas están sometidas a temperaturas elevadas y con fuertes variaciones; presentan problemas de abrasión, atascamiento, etc. Existen parrillas transportadoras, reciprocantes y de balanceo, en las que se seca, y se realiza la combustión de las basuras.

Para calcular el área de las parrillas se utiliza un factor de  $20-30 \frac{\text{Kg/hr}}{\text{ft}^2}$  ; si incineramos 20 000 Kg/hr :

$$\text{Area} = \frac{20\ 000\ \text{Kg/hr}}{25\ \frac{\text{Kg/hr}}{\text{ft}^2}} = 800\ \text{ft}^2 \approx 75\ \text{m}^2$$

y las dimensiones de la parrilla pueden ser 9m x 9m.

5. Aire: El aire necesario para la combustión será el aire estequiométrico, que se calcula de la fórmula de la basura y de acuerdo a la cantidad de  $\text{O}_2$  en el aire; y el aire en exceso, que generalmente representa de un 150-200 % del aire estequiométrico y se introduce de dos formas: una inyección inferior a través de las parrillas( éste aire deberá ser precalentado a  $150-200^\circ\text{C}$ ) tiene una función de proporcionar el  $\text{O}_2$  necesario para la combustión de los desechos; la otra inyección, a la cámara de combustión, tiene como fin eliminar los malos olores , partículas, etc.

6. Temperatura: Varía de un lugar a otro: arriba de la cámara hay hasta  $1\ 500^\circ\text{C}$  y en el centro es del orden de  $800^\circ$  a  $1100^\circ$  centígrados; se ha demostrado que a  $800^\circ\text{C}$  la combustión no es adecuada pues hay gases mal olientes. Los límites superiores pueden fundir ciertos materiales y producir estancamientos, también se resienten las estructuras y el material refractario.

7. Efluente de los gases: Entre algunos de ellos están las cenizas volátiles de 20-120 micras, que se van en la mez -

cla de gases, los gases como  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$  e hidrocarburos; las cenizas no volátiles (escoria) y otras partículas que pasan a través de las parrillas pueden regresar a combustión puesto que tienen materia orgánica. Las cenizas no volátiles constituyen del 20-25% en peso del total de las basuras y las volátiles representan el 10 %.

8. Agua del proceso: Se usa para el control de las cenizas y los polvos; en U.S.A., las estadísticas indican que por cada tonelada de basura procesada se ocupan de  $2-8 \text{ m}^3$  de agua y generalmente en el efluente salen de  $5-30 \text{ kg}$  de cenizas volátiles por tonelada de basura procesada.

Tipos de incineradores.- En la actualidad existen diversos tipos de incineradores, entre ellos tenemos:

- a) Incinerador municipal: Con capacidad de más de 50 toneladas por día; necesita mecanismos de alimentación automática, control de temperatura, sistema de parrillas y control de partículas (filtros de bolsa o precipitador electrostático).
- b) Incinerador comercial o institucional: Puede trabajar cualquier tipo de desechos, generalmente ésta basura es rica en papel; su capacidad de operación es de  $23-1800 \text{ Kg}$  por hora, la alimentación puede ser continua e intermitente, el control de partículas se efectúa a través de quemadores secundarios.
- c) Incineradores domésticos: necesitan quemador secundario para controlar gases y partículas.
- d) Incineradores patológicos: La alimentación, como su nombre lo indica, es de desechos patológicos y puede ser de  $20-50 \text{ Kg/h}$ ; debe existir control de la combustión, quemadores secundarios y para controlar las partículas se necesitan precipitadores electrostáticos.



Control de partículas.

<u>Dispositivos de control</u>	<u>Eficiencia de colección(%)</u>
Cámaras de sedimentación	5 - 30
Cámaras de sedimentación con aspersión de agua	30 - 60
Ciclones	30 - 80
Lavadores	80 - 95
Precipitador electrostático	90 - 96
Filtro de bolsas	97 - 99

Datos básicos para diseño.- La precisión de estos datos es necesaria para obtener buenos resultados al diseñar e incluyen la determinación presente y futura de la población a la que se va a servir, así como la cantidad, composición y características de los desechos a incinerar. Es necesario considerar las regulaciones sobre el control de la contaminación del agua, aire y suelo, así como otras regulaciones locales y estatales.

Es importante conocer la densidad de población, de industrias y comercios, puesto que esto nos indicará el sitio más económico para instalar un incinerador; además hay que conocer la generación de basuras por habitante y las variaciones estacionales. Para el dimensionamiento de un incinerador, se debe considerar que éstos no operan continuamente, ya que se ha observado que requieren el 15 % del tiempo para mantenimiento.

COSTOS.

En México se ha estimado que los costos de un incinerador municipal resultan del orden de 200-250 \$/TON; pero en U.S.A. (1968) se efectuó un estudio a 170 incineradores encontrándose lo siguiente:

Depreciación	100 - 140 \$/TON
Operación y mantenimiento	100 - 150 \$/TON
Costo total	<u>200 - 290 \$/TON</u>

quizá sea necesario añadir otros gastos debido a nuevas leyes existentes para controlar la contaminación del aire.

### 3.2.4 PIROLISIS. ✓

La pirólisis es una descomposición química, en ausencia de aire, mediante la aplicación de calor; en ella quedan como residuos carbón, metales, agua, dióxido de carbono, alcohol metílico y metano principalmente.

De la descomposición de las basuras resultan productos de cierto valor calorífico que pueden utilizarse; tales es el caso del gas combustible y del aceite combustible, - que más adelante describiré.

La pirólisis, como método de disposición de desechos, ha sido desarrollado en U.S.A. por varias compañías, sin embargo en la actualidad únicamente existen plantas piloto que obtienen de las basuras gas y aceite combustible. Entre las plantas que más investigación han reportado se encuentra la de Unión Carbide que tiene una capacidad de 200 TON por día y se encuentra en Virginia occidental y la planta de Mansanto con una capacidad de 1000 TON/día y que se halla en Baltimore; estas dos plantas pirolizan las basuras, obteniendo gas combustible; la compañía Garret, en San -- Diego, con 200 TON/día obtiene aceite a partir de la basura.

Al igual que para las plantas de composta, e incineración, para la pirólisis es necesario adecuar los desechos al proceso, por medio de reducción de su tamaño, secado, separación de metales y materiales no combustibles; depen --

diendo de las características de las basuras, será necesario efectuar alguna o varias de las operaciones anteriores.

Pirólisis de los desechos a gas combustible.- Se tomó como base una planta de 1000 TON/día, debido a que es la planta piloto de éste tipo que mayor información presenta. En la figura no. 12 se muestra un diagrama de ésta planta.

El método de la compañía Monsanto, incluye recepción y manejo de los desechos sólidos, desmenuzamiento, pirólisis, purificación de gases y procesamiento de sus residuos. Los desechos llegan a la planta y pasan al desmenuzador, con lo cual se reduce su volumen y se produce una partícula uníforme de aproximadamente 7 centímetros, que se alimenta a un secador rotatorio o pasa directamente al reactor de pirólisis. En éste, el desecho es calentado en una atmósfera deficiente de oxígeno, para descomponer la materia orgánica.

Se reduce el volumen de los desechos en un 94 % aproximadamente y se forman productos gaseosos. El material de residuo está constituido principalmente por metales, vidrios, polvos, cenizas y carbón.

Los gases producto de la pirólisis, pasan a través de un mecanismo de control de partículas, la materia particulada pasa al rotor, y los gases pasan a un condensador y luego a un compresor; finalmente, este gas se usará como combustible.

Esta planta ha reportado que los óxidos de nitrógeno, se reducen a 75 ppm y nada se descarga al medio ambiente, sin antes proporcionarle un tratamiento. Los residuos calientes son enfriados al salir del reactor o del secador y se hacen pasar por un separador magnético para recuperar el hierro y el acero; éstos metales son llevados después de lavarlos, a un área de almacenamiento. Los residuos remanentes son inocuos y sin olor y son dispuestos en un relleno.

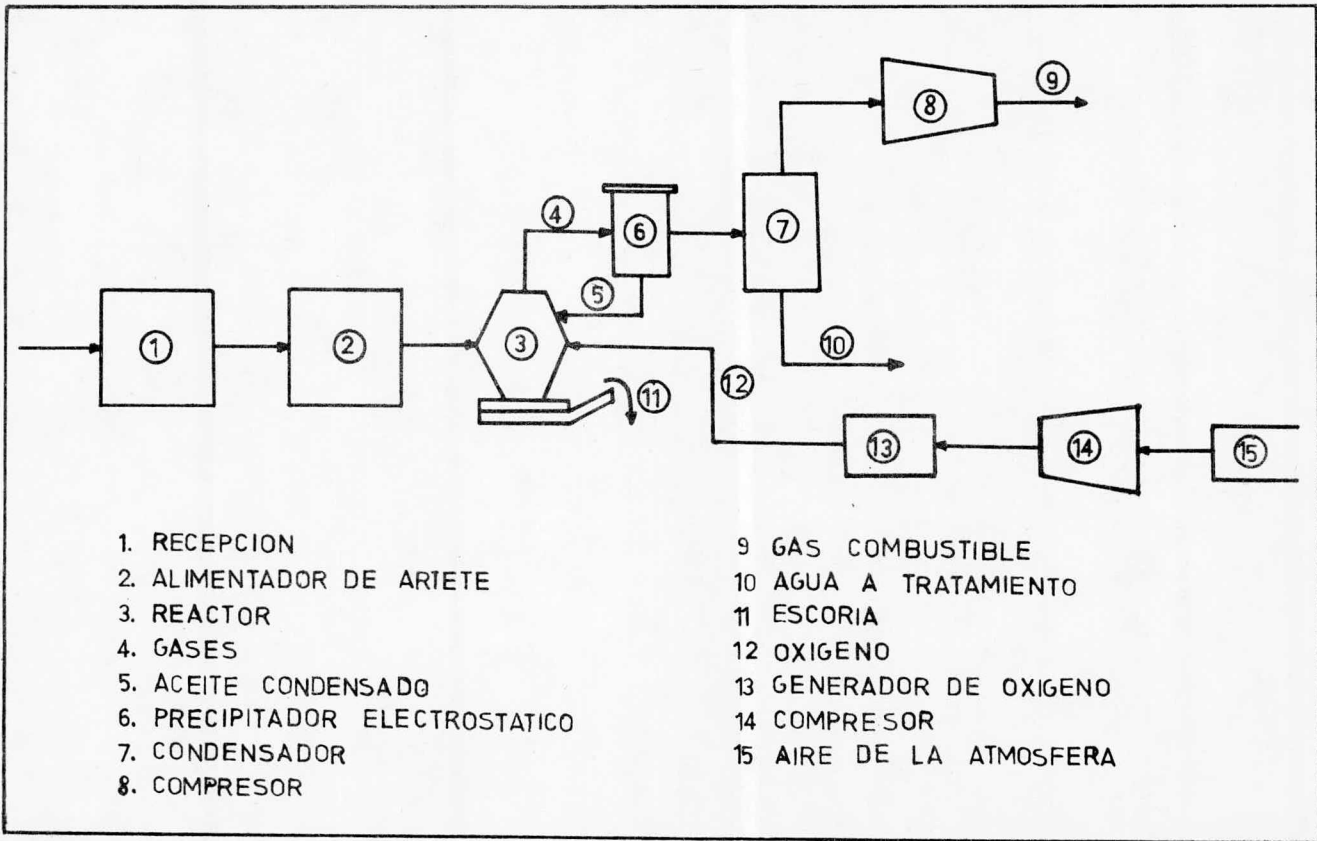


FIG. 12.- DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA PLANTA PIROLITICA

COSTOS.

Los datos que a continuación se presentan, fueron calculados para una planta con una capacidad de 1000 Toneladas de basura por día; la vida útil se estimó en 20 años y un periodo de construcción de dos años.

Inversión de capital.- Para la planta mencionada, que produce gas combustible, la cantidad de basuras procesadas anualmente es:

$$1000 \text{ TON/día} \times 250 \text{ días} = 250 \text{ 000 Toneladas.}$$

<u>Operación</u>	<u>Costo</u>	<u>Depreciación y amortización</u>
Preparación de la alimentación (secador, desmenuzador y clasificador).	62.0	2.82
Pirólisis (reactor)	85.0	3.86
Recuperación de productos	32.0	1.45
Servicios	38.0	1.73
Terrenos	5.0	0.23
Organización, preparación y arranque	<u>10.0</u>	<u>0.45</u>
T O T A L	232.0	10.54

Nota: las cantidades están dadas en millones de pesos y la depreciación y amortización es a 22 años.

Costos de operación.- Los costos de operación anuales estimados para la planta ya mencionada son los siguientes:

<u>Concepto</u>	<u>Millones de pesos/año</u>
Mano de obra	15.00
Materiales	6.00
Servicios	10.00
Depreciación y amortización	10.54
Intereses y fianzas	<u>22.00</u>
	63.54

El costo anual de operación de la planta es: \$63,540,000

El costo por tonelada procesada es de :

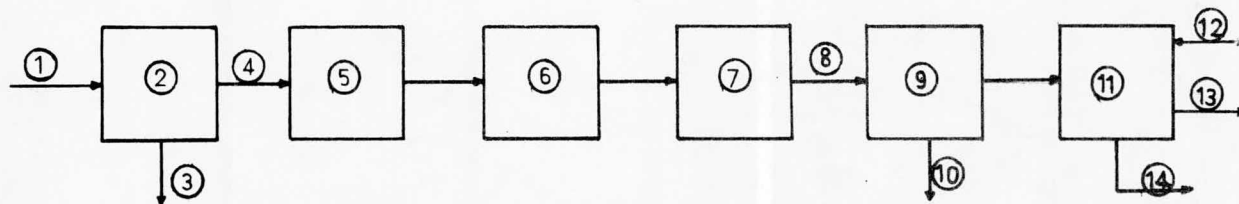
$$\frac{63,540,000 \text{ \$/año}}{250,000 \text{ ton/año}} = 254.16 \text{ \$/ton}$$

Se estima que la recuperación de materiales metálicos como hierro, aluminio y plomo, proporcionan el dinero suficiente para disponer los residuos no combustibles en un relleno.

Según los datos proporcionados por la compañía Monsanto, el gas obtenido tiene una capacidad calorífica de aproximadamente 150 Kcal/ft<sup>3</sup>std y presenta la siguiente composición molar: metano, 2.8% ; N<sub>2</sub>, 69.3% ; CO<sub>2</sub>, 11.4% ; CO, 6.6% ; H<sub>2</sub>, 6.6% y O<sub>2</sub>, 1.6%.

En los reportes de la Cía. Monsanto, no aparece el precio de éste gas, pero suponen que su venta ayudaría a sufragar los gastos de operación.

Pirólisis de los desechos a aceite combustible.-  
(fig. 13) Ha sido desarrollado por la cía. Garrett y es parte de un sistema completo para disponer los desechos urbanos. En éste proceso, primeramente los desechos son triturados y secados y los materiales inorgánicos son removidos para usarlos nuevamente o para su disposición final. Los desechos orgánicos son nuevamente desmenuzados y secados por un intercambiador de calor desarrollado por Garrett, que opera a 500°C en una atmósfera sin oxígeno. Cada tonelada de desechos produce aproximadamente 40 galones de aceite, 65 Kg de metales ferrosos, 55 Kg de vidrio, 70 Kg de carbón y cantidades variables de gas de baja energía calorífica (70-80 Kcal/ft<sup>3</sup>std. El gas se recircula para proporcionar la atmósfera libre de oxígeno para la pirólisis, y con parte de carbón, es



- 1. ALIMENTACION
- 2. RECEPCION Y MOLIDO
- 3. RECHAZOS (vidrio y metales)
- 4. AIRE CALIENTE
- 5. CLASIFICADOR DE AIRE
- 6. MOLINO
- 7. REACTOR
- 8. GASES

- 9. CICLON
- 10. CARBON
- 11. COLUMNA DE SEPARACION
- 12. AGUA
- 13. GARBOIL (aceite combustible)
- 14. AGUA A TRATAMIENTO

FIG. 13.- DIAGRAMA DE BLOQUE DE UNA PLANTA PIROLITICA

quemado para proporcionar el calor para el proceso.

El aceite producido por este método, se semeja al aceite industrial No.6 , como puede verse a continuación:

<u>Componente</u>	<u>Aceite No.6</u> ( % en peso)	<u>Aceite de basura(garboil)</u> ( % en peso)
Carbón	89.7	57.5
Hidrógeno	10.5	7.6
Azufre	0.7-3.5	0.3
Cloro	- - - -	0.3
Cenizas	menos de 0.5	0.2-0.4

La gravedad específica del aceite No.6 es de 0.98 y la de garboil es de 1.3.

La energía calorífica del aceite No. 6 es de 10100 Kcal/Kg y la del garboil es de 5830 Kcal/Kg.

La compañía Garrett ha invertido mas de 60 millones de pesos en procesos que no contaminen y esto lo ha probado por mas de 4 años en una planta piloto de Verne Calif. El éxito de este proceso, se manifiesta en que esta compañía firmó un contrato para disponer todos los desechos sólidos producidos por dos ciudades de U.S.A. (Escondido y San Marcos Calif.). El aceite producido, se estimó que los costos de operación serían de \$160/ton.

A pesar de todo lo que se ha hecho, en la actualidad únicamente existen plantas piloto y para México no se ha precisado el costo de una planta de este tipo; por todo lo anterior, se observa que la inversión es altísima, al igual que los costos de operación; sin embargo , la escasez de energéticos hace que se piense más en la utilización de la pirólisis ya que representa la ventaja adicional de recuperación de energéticos.



### 3.2.5 LOMPACTACION.

La compactación de desechos sólidos, es una operación que consiste en reducir el volumen de éstos, por medio de una prensa hidráulica. Los desechos sólidos pueden compactarse hasta 5 a 10 % de su volumen original por éste método.

La compactación a altas presiones y enfardado de los desechos sólidos, es la manera más efectiva y económica de procesar las basuras y enviarlas a áreas de disposición lejanas del lugar de generación.

Los materiales que entran al proceso de compactación, pueden caracterizarse como mezclas heterogéneas de materiales que como regla, se comportan como semisólidos bajo la compactación.

Requisitos para la operación de compactación.- Es necesario que existan estaciones de transferencia con el adecuado equipo de compactación, para que de ahí las pacas puedan ser transportadas a su lugar de disposición final; el vehículo de transporte puede ser un tren o camiones.

La salida del material del proceso de compactación a altas presiones, estará modificado por la forma de los desechos, tamaño, estabilidad y densidad de los mismos. Se ha encontrado que una compactación de  $0.65 \text{ Kg/m}^3$  de los desechos sólidos, presenta las óptimas condiciones; por el contrario, presiones mayores a  $0.65 \text{ Kg/m}^3$  logran muy poca compactación adicional.

Forma y figura de los materiales de salida.- Para facilitar las operaciones de transporte y disposición de los desechos sólidos, es necesario considerar el uso de altas presiones de compactación, no solo con el objeto de reducir el volumen, sino también con el propósito de darle for

ma al producto resultante del proceso. La forma específica del producto, puede determinarse tanto en términos de la utilización de espacios de almacenamiento y transporte, como de la colocación y apilamiento en el sitio de disposición final elegido. Aunque las configuraciones de esferas y hexágonos añaden resistencia a las pacas, la práctica industrial ha adaptado las formas cuedrangular y rectangular ya que éstas se adaptan mejor al transporte y almacenamiento.

El tamaño de las pacas, se determina primeramente por las dimensiones del vehículo que las transportará; generalmente, se hacen pacas de varios tamaños, pues tradicionalmente, en Japón donde se ha desarrollado con mayor éxito - éste método, se emplean vagones de ferrocarril que presentan diversos tamaños tanto en longitud como en altura.

Estabilidad de las pacas.- Es un factor muy importante en su transportación, debido a que generalmente, después de producida la paca, ésta puede permanecer almacenada 7 días y posteriormente ser transportada, pudiendo tardar 2 días para llegar al sitio de disposición. La estabilidad puede lograrse, aplicando únicamente presión, por la aplicación de adhesivos antes ó durante la operación de enfardado y por encapsulación o atando las pacas después de salir de las prensas.

Reducción de volumen durante la compactación.- De numerosas pruebas realizadas en U.S.A., se pudo establecer, que la reducción de volumen de los desechos sólidos debe efectuarse en varios pasos. Inicialmente, cualquier carga de desechos se coloca bajo el martillo hidráulico en un espacio de  $0.70 \text{ m}^3$ , posteriormente, se le aplica presión y el volumen se reduce a  $0.25 \text{ m}^3$ . La fase siguiente, consiste en aplicarle una prensa hidráulica de alta presión que-

confina los desechos a aproximadamente  $0.07 \text{ m}^3$ .

En estas pruebas se encontró que cuando se compacta a  $245 \text{ Kg/cm}^2$  una carga inicial de  $0.7 \text{ m}^3$ , su volumen se reduce de  $0.045$  a  $0.07 \text{ m}^3$ ; un fardo mayor, de  $0.11 \text{ m}^3$ , resultó de compactar una muestra de  $1.3 \text{ m}^3$ ; la paca mas pequeña, de  $0.03 \text{ m}^3$  se obtuvo de una carga de  $0.7 \text{ m}^3$ ; con lo anterior, se demostró que hay una reducción de volumen de 90-95 %.

Cambio en volumen durante la compactación final.- Durante la compactación final se ha encontrado que los cambios de volumen son mas pequeños que en las primeras etapas de compactación; además se ha observado que el hecho de mantener bajo presión la paca durante largos períodos de tiempo mejoran su estabilidad. Al aumentar la presión o el tiempo de aplicación de la misma, da como resultado, que el volumen de la paca disminuye y después de la compactación se reducen las fuerzas de expansión.

Para determinar la relación entre el peso introducido y el tamaño de las pacas, se toman cantidades de 90 Kg y después de la compactación a alta presión, las variaciones en el volumen ocupado fueron mas o menos 15 % del volumen promedio.

Pérdidas de peso durante la compactación.- En la mayoría de los casos se encontró que el peso de las pacas después de sacarlas de la prensa es menor que el peso de la carga inicial colocada en la prensa. Principalmente, esta pérdida de peso se debe a líquidos y suspensiones sólido-líquidos; desde luego que estas pérdidas fueron mayores para desechos húmedos. Los desechos muy húmedos, pierden el 37 % del peso original y los desechos moderadamente húmedos pierden del 1 al 3 % del peso original.

Factores que afectan la compactación.- Entre los factores que afectan la estabilidad de las pacas tenemos: el contenido de humedad, tiempo de duración de la compactación y presión de la compactación. Para pacas con un contenido de humedad moderado, la compactación a alta presión, dará pacas estables; por otra parte, los fardos compactados a baja presión, son muy frágiles (presiones de 35-70Kg por  $\text{cm}^3$ ); éstos fardos generalmente se parten al salir del enfardador y otros con las sucesivas manipulaciones. Se encontró un aumento en la estabilidad de los fardos que se compactan entre 70-105  $\text{Kg}/\text{m}^2$ , sin embargo, de 175-245  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ , se mejora su estabilidad; presiones mayores de 420  $\text{Kg}$  por  $\text{cm}^2$ , mejoran muy poco la estabilidad de las pacas.

Mediante pruebas de vibración y de impacto, se ha comprobado que el transporte de las pacas no afecta su estabilidad, así como tampoco la afectan los choques de las pacas entre sí; se comprobó también que la estabilidad de las pacas al caer, se ve afectada por su mayor edad, altura y número de caídas. Se observó que para pacas producidas a 140 - 245  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  aparentemente no se requieren cuidados especiales en su manipulación y transporte.

Guía para la investigación de las especificaciones del equipo para compactación.

Características del material: Son mezclas heterogéneas de contenido de humedad variable, que pueden comportarse como semisólidos bajo la compactación.

Contenido de humedad: Generalmente es del 20 -40 % en peso del material introducido.

Recompactación de los desechos introducidos: No es necesaria una precompactación adicional a la efectuada por los camiones recolectores utilizados comúnmente.

Producción: Varía desde 50 a 1000 toneladas de desechos por 8 horas de operación.

% de operación del ciclo: De 0.3 a 0.2 pacas por minuto excluyendo cualquier tiempo de retención de la presión final aplicada.

% total del ciclo: Es del % de operación del ciclo, mas 1 minuto de presión final.

Presión aplicada en la compactación: De 140 a 245 Kg por  $\text{cm}^2$  sin tiempo de retención, para una presión final de 140  $\text{Kg/cm}^2$  o menores presiones, hay un tiempo de retención de 1 minuto.

Densidad del material en la cámara de compactación: varía de 1125 a 1445  $\text{Kg/m}^3$  con un promedio de 1285  $\text{Kg/m}^3$ .

Figura del fardo en la cámara de compactación: Puede ser cúbica, rectangular o cilíndrica.

Tamaño del fardo: De 0.20 a 0.23  $\text{m}^3$ .

Estabilidad de la paca: Excepto para desechos entregados durante fuertes lluvias, la mayoría de los fardos, son estables después que salen de la prensa.

Alimentación: Toda la carga se alimenta en la caja, no se efectúa alimentación adicional hasta salir la paca formada de la carga anterior.

Equipo de compactación: Prensa hidráulica.

Vida útil del equipo: De 10 a 20 años, usando el equipo 5 días a la semana y de 6-8 hr/día.

Costo del equipo: En la literatura existente en México, no se hallaron datos al respecto.

3.3. En la tabla No. 5 se presenta un análisis detallado de todos los métodos aquí expuestos.

TABLA N° 5 ANALISIS COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES METODOS DE DISPOSICION SANITARIA DE LOS DESECHOS SOLIDOS URBANOS																								
METODO	DEFINICION	MUJERES A LOS QUE PUEDE DAR SERVICIO	TIPO DE DESECHO QUE SE PUEDE TRATAR	TAMANO DE LOS DESECHOS	PRE-TRATAMIENTO DE LOS DESECHOS	REDUCCION DE VOLUMEN	% DE HUMEDAD PERMITIDA	% DE METALES PERMITIDO	RECUPERACION DE MATERIALES COSTOSOS	ZONA DE UBICACION	AREA REQUERIDA	EPOCA DEL AÑO EN QUE PUENE EMPLEARSE	CONTAMINACION PRODUCIDA	TRATAMIENTO ADICIONAL DE LOS RESIDUOS	EXISTENCIAS DEL METODO	PERSONAL	FUENTE DE EMPLEOS	REQUERIMIENTO A BAJAS CAPAS SOCIALES	VENTA DE SUBPRODUCTOS	VENTA DE PRODUCTOS	REGULACIONES GUBERNAMENTALES	INVERSION INICIAL (\$)	COSTO DE OPERACION ton	INVERSION ANUAL (\$/año)
RELLENO SANITARIO	Disposición en la tierra de los des., sól., mediante el uso de métodos ingenieriles que permiten reducir los des. al área práctica más pequeña, cubriéndolos con una capa de tierra al finalizar cada día de operación o más frg. humedades.	Poblaciones pequeñas y grandes ciudades, así como industrias, hospitales, etc.	Todo tipo de desecho industrial, agrícola, municipal, farmacéutico, alimentos procesados, etc.	Cualquier tamaño de los desechos no afecta la operación, se dice se acepta cualquier tamaño de desecho.	No hay necesidad.	Si hay reducción en el volumen, pero ésta depende tanto del desecho como del equipo utilizado.	Un alto contenido de humedad favorece la descomposición y la compactación de los desechos y esto no es recomendable en un relleno sanitario.	Cualquier porcentaje se puede disponer con facilidad.	En lugares donde la mano de obra es barata se recomienda esta operación.	Generalmente en las afueras de las ciudades, pues los sitios dentro de ésta son muy caros.	Depende de las características y cantidades de los desechos, de la eficiencia de compactación, profundidad del relleno y del tiempo de operación.	En cualquier época del año, pero en época de lluvias es necesario proteger el material de cubierta.	Bajo condiciones normales de construcción y operación, no hay contaminación.	No hay residuos.	En aumento en la cantidad de desechos se solucionan con un pequeño aumento de personal o aumentando las horas de operación.	El personal especializado es mínimo; generalmente se requiere poco personal.	Nuevos empleos, entre ellos están: tractoristas, ingenieros, peones; en general el personal empleado es poco.	Si existe recuperación de materiales puede emplearse personal de los barrenderos, con lo cual se eleva el nivel socioeconómico de éstos.	Si hay recuperación de papel, cartón, vidrio y metales, su venta produce alguna ganancia.	Después de terminado un relleno sanitario, este lugar se puede vender o rentar a un mejor precio de su valor inicial.	En México las principales disposiciones legales referentes a la prevención y control de la contaminación ambiental son las siguientes: Ley Federal para Prevenir y controlar la contaminación ambiental. Reglamento para la prevención y control de la contaminación atmosférica originada por la emisión de humos y polvos. Reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas. Estas disposiciones son las que rigen en la instalación y actividad de cualquier planta de este tipo.	Para una población de 200000 hab. o 1000000/\$750000.	de 11 a 25	aproximadamente de 375 000
COMPOSTA	Transformación de la materia orgánica de los desechos sólidos en material sanitario, sin olores, mediante la acción de microorganismos.	Para comunidades de más de 100000 habitantes.	Cualquier tipo, excepto desechos voluminosos. Es necesario desmenuzarlos con alto contenido de materia orgánica.	Generalmente no se aceptan desechos voluminosos.	Unificar el tamaño por lo menos una vez antes de pasar a la planta de tratamiento.	Es mínima y se debe a la uniformidad del tamaño de los desechos.	Un alto contenido de humedad favorece la descomposición, pero se recomienda el 50-60%.	Hay necesidad de separación y disposición en otro lugar.	En lugares donde la mano de obra es barata se recomienda esta operación.	Generalmente en las afueras de las ciudades, pero estará específicamente en el plano regulador de las ciudades.	Depende del tamaño de la planta y ésta de la cantidad de desechos generados diariamente por la población a servir.	En cualquier época del año, pero en época de lluvias es necesario proteger las pilas de compost.	Bajo condiciones normales de operación, no hay contaminación.	Los desechos que perjudican al proceso y que no se pueden vender, extra necesario llevarlos a un relleno sanitario.	Un aumento en la cantidad de des. trae consigo el ampliar la planta o las horas de operación.	En la construcción se requiere personal especializado, también en los laboratorios y controles.	En la operación generalmente se emplea mucho personal, no es especializado.	En México se emplean clasificadores manuales que provienen de los tiradores, mejorando su nivel de vida.	Las plantas en México recuperan papel, cartón, vidrio y metales, obteniendo de su venta ciertos ingresos.	El producto resultante "composta" se puede vender a campesinos y agricultores para mejorar sus suelos.	En México las principales disposiciones legales referentes a la prevención y control de la contaminación atmosférica originada por la emisión de humos y polvos. Reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas. Estas disposiciones son las que rigen en la instalación y actividad de cualquier planta de este tipo.	Para una población de 800 000 hab. o 400000/\$44 000 000.	aproximadamente de 200 a 250	aproximadamente de 23 800 000
INCINERACION	Proceso de combustión controlado utilizado para quemar desechos sólidos y gaseosos producidos en industrias y hospitales.	Zonas densamente pobladas; también en industrias y hospitales.	Cualquier tipo de desechos, volúminosos, metales y vidrio no entra a incineración.	Generalmente no se aceptan desechos voluminosos.	Hay necesidad de separar los metales y el vidrio antes de incinerar.	Hay una reducción de un 80 a 90% en volumen y de un 75 a 80% en peso.	Generalmente cualquier porcentaje de humedad no afecta al proceso.	Es necesario eliminar mecánicamente cualquier cantidad de estos.	Debido que la incineración es costosa, no se recomienda la separación manual de estos desechos.	Puede existir en el caso de generación de desechos, pero generalmente se estará en la zona industrial.	Generalmente ocupa un área pequeña, pero depende de la cantidad de desechos generados por día.	Con el equipo para el control de la contaminación.	Los residuos serán dispuestos en un relleno sanitario.	Un aumento en la cantidad de des. trae consigo el ampliar la planta o las horas de operación.	Generalmente se requiere poco personal, pero éste debe ser especializado.	Generalmente no se emplea personal que se emplea en especialización.	Como son procesos muy caros, generalmente no hay recuperación de objetos de valor, salvo los que perjudican a la industria.	El calor producido puede aprovecharse para generar vapor, el cual puede venderse a industrias.	Tanto el gas combustible como el aceite combustible pueden venderse.	Para una población de 250 000 000 o 100 000 000/\$23 000 000.	aproximadamente de 200 a 300	aproximadamente de 80 000 000 a 100 000 000		
PIROLISIS	Descomposición química por acción del calor, en ausencia de oxígeno, como residuo queda carbón, metales, agua, CO, metano y alcohol metílico principalmente.	Ciudades densamente pobladas, con más de 100000 habitantes.	Cualquier tipo de desecho mediante un pre-tratamiento.	Generalmente no se aceptan desechos voluminosos.	En algunas ocasiones es necesario reducir el tamaño, secarlo y separar metales y vidrio y materiales no combustibles.	La reducción en volumen es aproximadamente del 95%.	Si el desecho está muy húmedo hay necesidad de secarlo antes de que entre a la planta.	Generalmente existen separadores mecánicos que eliminan los metales.	Debido que la pirólisis es costosa, no se recomienda la separación manual de estos desechos.	Puede existir dentro de la C.A., pero generalmente estará ubicada en la zona industrial.	Puede ocupar un área pequeña, pero dependerá de la cantidad de desechos generados por día.	Cualquier época del año, pero no lo afectan las alteraciones meteorológicas.	Los residuos serán dispuestos en un relleno sanitario.	Un aumento en la cantidad de desechos trae consigo el ampliar la planta o aumentar las horas de operación de ésta.	Generalmente se requiere poco personal, pero éste debe ser especializado.	Generalmente no hay mejores socioeconómicas y bajas capas, pues el personal que se requiere es especializado.	La operación en sí no mejora la situación de las capas sociales, pero al recuperar los materiales que perjudican a la industria.	Para países como México se recomienda la recuperación de materiales de alto valor, sin embargo no tanto de los de menor valor.	El producto resultante son las pajas, las que generalmente van a un relleno sanitario, pero también se utilizan para las características.	Para una población de 250 000 000 o 100 000 000/\$23 000 000.	aproximadamente de 250 a 300	aproximadamente de 84 000 000		
COMPACTACION	Reducción de volumen de los desechos sólidos por medio de una prensa hidráulica.	Comunidades de más de 500000 hab., también en oficinas y hospitales.	Cualquier tipo de desecho sólido siempre y cuando no posea más del 40% de humedad.	Generalmente no se aceptan desechos voluminosos.	No hay necesidad.	Reducción en volumen de un 90 a 95%.	De un 20 a 30% en peso favorecen la estabilidad de las pajas.	Cualquier contenido de metales en los desechos se acepta en la operación.	No hay datos, pero quizá sea conveniente la recuperación de estos.	Dentro de la ciudad, pero no se recomienda en la zona industrial.	Depende de las cantidades de desechos a manipular por día.	Cualquier época del año, siempre que en la época lluviosa se protejan las pajas.	Bajo un eficiente sistema de compactación y transporte de los desechos al lugar donde se dispone en rellenos sanitarios.	Los pajas constituyen los residuos, o sea que todo lo que entra constituye el residuo y generalmente se dispone en rellenos sanitarios.	Un aumento en la cantidad de desechos trae consigo el ampliar la planta o las horas de operación de la misma.	Para la operación en sí se requiere poco personal y no necesariamente se requiere.	Generalmente no se emplea personal que se emplea en especialización.	La operación en sí no mejora la situación de las capas sociales, pero al recuperar los materiales que perjudican a la industria.	Para países como México se recomienda la recuperación de materiales de alto valor, sin embargo no tanto de los de menor valor.	Para una población de 250 000 000 o 100 000 000/\$23 000 000.	aproximadamente de 250 a 300	aproximadamente de 84 000 000		

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES.

- 1.- La formación del ingeniero químico, lo capacita para que colabore en la solución de problemas nacionales como es la contaminación producida por los desechos sólidos urbanos.
- 2.- En los países más avanzados tecnológicamente, se está implantando el método de relleno sanitario para la disposición de sus desechos sólidos; esto se debe principalmente a que la inversión y los costos de operación son menores en un relleno sanitario, en comparación con cualquier otro método.
- 3.- La mayoría del equipo que requieren estos métodos, son de producción extranjera por lo que es necesario que se den facilidades e incentivos a los industriales nacionales para que lo construyan en el país.
- 4.- Los costos que aquí se dan no son 100 % confiables, pues el equipo no se fabrica en el país y mientras no se fije la nueva paridad del peso con el dólar, los costos pueden variar mucho de los aquí establecidos.
- 5.- La mayoría de los municipios mexicanos, no saben como atacar adecuadamente el problema de los desechos sólidos, por lo que es necesario que se suministre mayor información y asesoría de instituciones gubernamentales y de asociaciones de industriales.
- 6.- Existe poca información bibliográfica respecto a los métodos sanitarios de disposición de basuras, sin embargo, en la Subsecretaría del mejo-



ramiento del ambiente se encuentra información al respecto.

- 7.- Considero que es necesaria la pronta creación de una ley tendiente a regular la contaminación provocada por la mala disposición de los desechos sólidos urbanos.
- 8.- Por ser el método de relleno sanitario el que presenta las mayores ventajas para la disposición sanitaria de las basuras, se concluye que es el método que debe utilizarse en México; pudiendo existir una recuperación de materiales valiosos como son: papel, cartón, metales, etc.

#### 4.2.- RECOMENDACIONES.

El objetivo de este trabajo, fué el de presentar los métodos sanitarios de disposición de los desechos urbanos y recomendar el método o los métodos que mejor se adaptan a las condiciones del medio mexicano.

En base a la tabla del capítulo anterior (análisis comparativo de los diferentes métodos sanitarios de disposición de los desechos sólidos urbanos), se observa que cada método en particular ofrece ventajas y desventajas en cuanto a su uso; sin embargo, en términos generales, es el método de relleno sanitario, el que a juzgar por toda la información presentada, se debe emplear en la República mexicana para la disposición sanitaria de los desechos sólidos urbanos; para confirmar esto, a continuación se enumeran las ventajas que presenta el método de relleno sanitario:

- a). Donde existen suficientes terrenos disponibles, un relleno sanitario generalmente resulta ser -

el método mas económico para la disposición sanitaria de los desechos sólidos.

- b). Los costos de inversión, comparados con los otros métodos, son los mas bajos.
- c). Un relleno sanitario es un método de disposición final del cual hacen uso todos los otros métodos de disposición.
- d). Un relleno sanitario puede recibir prácticamente, todo tipo de desechos sólidos, es decir, que ningún tipo de desechos afecta la operación.
- e). Un relleno sanitario puede ponerse en operación en un corto período.
- f). En los lugares como México, donde la mano de obra es relativamente barata, pueden recuperarse manualmente materiales valiosos, de cuya venta, pueden obtenerse algunas utilidades.
- g). Un relleno sanitario es flexible, es decir, un aumento en la cantidad de basuras puede disponerse con un pequeño aumento tanto de personal, como de equipo.
- h). Después de terminar un relleno sanitario, éste sitio puede acondicionarse para campos de juegos( canchas de tenis, campos de beisbol, etc.), jardines y pequeñas construcciones.

La instalación de un relleno sanitario en un lugar determinado, además de resolver el problema de la contaminación de los desechos sólidos ayuda a solucionar en parte problemas como son:

- a). Fuentes de trabajo.
- b). Eleva el nivel social económico de sectores de la población muy marginados como son los llamados "pepeadores".

Por todo lo anteriormente expuesto, se recomienda - la utilización del método de relleno sanitario para disponer adecuadamente las basuras de la república mexicana puesto que el empleo de cualesquiera de los otros métodos ya mencionados implicaría elevar los costos de operación.

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

- 1.-SOLID WASTE COLLECTION  
Training Course manual  
U.S. Environmental Protection Agency  
Cincinnati Ohio, 1973.
- 2.- Little H.R.  
DESIGN CRITERIA FOR SOLID WASTE MANAGEMENT IN RECREATIONAL AREAS.  
U.S.Environmental Protection Agency  
Solid Waste Management Office, 1971.
- 3.- Zausner E.R.  
AN ACCOUNTING SYSTEM FOR TRANSFER STATION OPERATIONS  
U.S. Environmental Protection Agency  
Solid Waste management Office, 1971.
- 4.- Xanten W.A.  
REFUSE COLLECTION AND DISPOSAL FOR THE SMALL COMMUNITY  
Public Health Service  
Washington D.C. Nov. 1973.
- 5.- A STUDY OF SOLID WASTE COLLECTION SYSTEMS COMPARING ONE-MAN WITH MULTI-MAN CREWS.  
U.S. Department of Health, Education and Welfare  
Boureau of Solid Waste Management, 1973.
- 6.- LIXO E LIMPIEZA PUBLICA  
Universidade de Sao Paulo  
Facultade de Higiene e Saúde Pública  
Organicao Mundial de Saúde  
Sao Paulo, Brasil , 1969.
- 7.- Shuster K.A. and D.A. Shur.  
HEURISTIC ROUTING FOR SOLID WASTE COLLECTION VEHICLES  
U.S. Environmental Protection Agency, 1974.

- 8.-MUNICIPAL REFUSE DISPOSAL  
American Public Works Association  
U.S. Department of Health, Education and Welfare  
1970.
- 9.-Sorg T.J. and L.Hickman Jr.  
SANITARY LANDFILL FACTS  
U.S. Department of health, education and Welfare  
Boureau of solid waste management. 1970.
- 10.-brunner D.R. and D.J.Keller  
SANITARY LANDFILL DESIGN AND OPERATION  
U.S. Environmental Protection Agency.1972.
- 11.-OCEAN DISPOSAL OF BARGE-DELIVERED LIQUID AND  
SOLID WASTE FROM U.S. COASTAL CITIES  
U.S. Environmental Protection Agency  
Solid waste management office. 1971.
- 12.-MEMORIAS DE LA I REUNION NACIONAL SOBRE PROBLEMAS  
DE CONTAMINACION AMBIENTAL  
S.S.A. Subsecretaria del mejoramiento del ambiente  
Tomos I y II  
Mexico, 1973.
- 13.-CHEMICAL ENGINEERING  
Vol. 78 # 14; 21 de junio de 1971  
Vol. 78 # 22; 4 de octubre 1971
- 14.-Gouleke C.G.  
COMPOSTING, A STUDY OF THE PROCESS AND ITS PRINCIPLES  
Rodale Press, Inc.  
U.S.A. ,1973
- 15.-De Marco J. and D.J.Keller  
MUNICIPAL-SCALE INCINERATOR.DESIGN AND OPERATION  
U.S. Department of Health,Education and Welfare  
U.S.A. , 1969



- 16.- Baum and Parker  
SOLID WASTE DISPOSAL  
Vol.II. Reuse-recycle and Pyrolysis  
Ann Arbor Science  
U.S.A. 1974.
- 17.- Alpert S.B.  
PYROLYSIS OF SOLID WASTE : A TECHNICAL AND ECONOMIC  
ASSESSMENT  
Stanford Research institute, Menlo Park California  
U.S.A. September,1972.
- 18.-HIGH-PRESSURE COMPACTION AND BALING OF SOLID WASTE  
U.S. Environmental Protection Agency  
U.S.A. 1972.
- 19.-Zepeda F.  
Apuntes tomados de las materias Desechos sólidos I y  
II.  
Div. de estudios superiores, Facultad de Ing.U.N.A.M.  
México , 1976.

**Impresiones "LUPITA"**

**Medicina 25 Frac. Copilco Universidad  
Ciudad Universitaria. D. F.**