

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS

DE INGENIERIA QUIMICA

EN EL TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE LOS

DESECHOS SOLIDOS

TRABAJO DE INVESTIGACION

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

ALFONSO GARCIA GUTIERREZ

MEXICO, D.F., 1975



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

A mi madre, Angelina,  
de cuya mano conocí la vida.

A mi esposa, Tita,  
de cuya mano conocí el amor.

A mi hijo, todavía por mí desconocido,  
de cuya mano conoceré la verdad.

Y a mis amigos, a todos aquéllos  
cercanos a mi corazón.



QUINCE

CLAS. Jesús

ADQ. 1975

FECHA 14-1-78

PROC. 118

## RECONOCIMIENTO

Doy mis más extensivas gracias a las siguientes personas por su colaboración en la realización de este estudio:

- . Ing. Francisco Zepeda Porras, Jefe del Area de Desechos Sólidos en el Consejo Técnico de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente.
- . Ing. Raúl Mingram, Subjefe del Area de Desechos Sólidos en el Consejo Tpecnico de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente.
- . Ing. Rolando Bracamontes, Director de la Planta Industrializadora de Desechos Sólidos en San Juan de Aragón, Servicios Urbanos, Departamento del Distrito Federal.
- . Ing. Emilio Pérez Salcedo, Superintendente de la misma planta Industrializadora.
- . Ing. Rafael García Ramírez, Alejandro Domínguez Coello, Felipe Orezza B., Jefes de turno de la misma planta.
- . Biólogo Luis Gracia Lezama, Jefe de Laboratorio de la misma Planta Industrializadora.
- . Ing. Esteban Oropeza, Asesor Técnico del Consejo Técnico de la Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente.
- . Daniel, Arturo, Alvaro, Rodolfo, Carlos, Mario, Marco Antonio, Mike, a todos mis amigos.
- . Ing. Alberto de la Fuente Zuno, Profesor de la Facultad de Química U.N.A.M., y Director de esta Tesis.
- . Y en especial a ti Tita.

A todos muchas gracias.

ALFONSO GARCIA GUTIERREZ

<u>CAPITULO I.</u>	<u>INTRODUCCION</u>	1
1.1.-	Efectos sobre el Medio Ambiente	2
1.1.1.	Vectores Biológicos	2
1.1.2.	Peligros Físicos y Mecánicos	3
1.1.3.	Polvos	3
1.1.4.	Peligros por Contacto Directo	3
1.1.5.	Provisiones de Agua	4
1.1.6.	Alimentos	4
1.1.7.	Aspectos Socioeconómicos	5
1.2.-	El Origen de los Desechos Sólidos	5
1.3.-	El Sistema de Manejo de Desechos Sólidos	6
1.4.-	El Tratamiento y la Disposición Final	8
1.5.-	El Panorama Nacional	9
<u>CAPITULO II.</u>	<u>COMPOSTEO, Teoría e Historia</u>	11
2.1.-	Historia y Desarrollo del Proceso	11
2.2.-	Generalidades sobre Acción Microbiana	14
2.2.1.	Clasificación de Microorganismos	15
2.2.2.	Resíduos de Alimentos y Materiales a Digerir	16
2.2.3.	Los Microorganismos y su Habitat	17
2.3.-	Principios de los Procesos de Composteo	19
2.4.-	Parámetros de Proceso	20
2.4.1.	Contenido Relativo de Carbono a Hidrógeno	20
2.4.2.	Tamaño de las Partículas	23
2.4.3.	Humedad y Contenido Líquido	26
2.4.4.	Aire y Oxígeno Disponibles	29
2.4.5.	Temperatura	29
2.4.6.	Acidez y Alcalinidad	30
2.5.-	Descripción de Procesos y Equipos Utilizados	31
<u>CAPITULO III.</u>	<u>TRANSPORTE DE DESECHOS SOLIDOS.</u>	
	<u>ALMACENAMIENTO</u>	36
3.1.-	Principios de un Transportador de Banda	37
3.2.-	Diseño de Transportador de Banda	41
3.3.-	Operación y Mantenimiento	47
3.4.-	Transportador de Tablillas y Cadenas	51
3.5.-	Almacenamiento	56
<u>CAPITULO IV.</u>	<u>REDUCCION DE TAMAÑO</u>	61

<u>CAPITULO V.</u>	<u>LABORATORIO Y ANALISIS DE PARAMETROS DE MANEJO</u>	68
5.1. -	Incineración	69
5.1.1.	Peso Volumétrico	69
5.1.2.	Humedad	70
5.1.3.	Materia Volátil	70
5.1.4.	Cenizas	70
5.1.5.	Carbono	71
5.1.6.	Hidrógeno	71
5.1.7.	Azufre	71
5.1.8.	Poder Calorífico Grueso	72
5.1.9.	Poder Calorífico Neto	72
5.2. -	Relleno Sanitario	72
5.2.1.	Estudio del Agua	73
5.2.2.	Estudio del Gas	73
5.2.3.	Suelos	73
5.2.4.	Asentamientos	74
5.3. -	Composteo	74
5.3.1.	Contenido en Componentes	74
5.3.2.	Peso Volumétrico	75
5.3.3.	Humedad	75
5.3.4.	Acidez	75
5.3.5.	Carbono	75
5.3.6.	Nitrógeno	75
5.3.7.	Temperatura	75
5.4.	Conclusiones	76
<u>CAPITULO VI.</u>	<u>ASPECTOS ECONOMICOS EN LOS PROCESOS DE DISPOSICION FINAL</u>	77
6.1. -	Composteo	77
6.2. -	Relleno Sanitario	78
6.3. -	Incineración	79
6.4. -	Factores Económicos	79
6.4.1.	Selección del Sitio de Instalación	79
6.4.2.	Requisitos Operacionales	80
6.4.3.	Inversión Final	82
6.4.4.	Gastos de Operación	83
6.4.5.	Venta de Subproductos	83
6.4.6.	Uso del Relleno Terminado	84
6.5. -	Protección al Medio Ambiente	84

	Página
<u>CAPITULO VII. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES</u>	86
7.1. - Estudios Mecánico-eléctricos	87
7.2. - Disposición Final	87
7.3. - Investigación sobre Composteo	87
7.4. - Recuperación de Materiales	87
7.5. - Composteo de Desechos Alimenticios	88
7.6. - Lodos de Tratamiento de Aguas Negras	88
7.7. - Aplicación de Composta al Suelo	88
7.8. - Condiciones Optimas de Composteo	88
7.9. - Condiciones Laborales	88
7.10. - Nuevos Métodos de Disposición Final	89
7.11. - Estudios Físicos, Químicos y Biológicos en torno a los Desechos Sólidos	89
7.12. - Una Medida Legal	89
7.13. - Leyes Actuales y Reformas	89
7.14. - Normas de Manejo	89
7.15. - Entrenamiento y Cursos Académicos	90
7.16. - Los Desechos Sólidos y la Ingeniería	90
7.17. - Estudios Económicos	90
<u>CAPITULO VIII. SENTIDO PRACTICO DE LOS PROCESOS Y FUTURO DE LA DISPOSICIÓN FINAL</u>	91
BIBLIOGRAFIA	100



## CAPITULO I. - INTRODUCCION.

Un cambio espectacular se ha venido realizando en las ciudades a últimas fechas. Ya para nadie es extraña la presencia de un río manchado por capas de aceite, aún menos lo es la capa gaseosa sobrenadante de la otrora esplendorosa ciudad de intenso movimiento y actividad industrial, ni menos sorprendentes son las bolsas de basura abandonadas en lotes baldíos y rincones antes frecuentados por enamorados y ahora morada de roedores y perros. El incesante incremento de la población, sobre todo la urbana, aunado a la sin solución emigración de campesinos hacia la urbe; la concentrada actividad industrial con todos sus procesos, productos e inevitables desechos y el escaso conocimiento y planeación del control del moderno "Golem". La contaminación surgió como un subproducto indeseable, pero ignorado, del desarrollo desenfrenado y de la política de la "Industrialización a costo de lo que fuese". En estos momentos es urgente la visión de "Industrialización aunque su limpieza cueste".

Los desechos sólidos nunca han sido tratados como debe ser, desde el punto de vista técnico. Los operarios de los sistemas de limpia eran los encargados de la recolección, transporte y disposi-

ción de la basura. Eran personas con conocimientos empíricos del sistema de manejo de los residuos sólidos. Como resultado de esta política indolente, los desechos han creado múltiples problemas de contaminación. Y su contaminación no es fácil de evaluar.

Arrojada la basura sobre cuerpos de agua, puede contener compuestos solubles y, como resultado, el agua se contamina y no puede emplearse con fines alimenticios, si no es potabilizada previamente. Abandonada al ciclo abierto, los gases de descomposición pueden entrar espontáneamente en combustión, generando nubes fétidas que son problemas de contaminación atmosférica para los centros urbanos cercanos y para la visibilidad de los posibles aeropuertos. Además de este problema, los tiraderos a cielo abierto pueden ser lugares de albergue y alimentación para muchos vectores biológicos como son las ratas, moscas, mosquitos y otros. Y el problema social de los "pepenadores" hace aún más urgente la disposición sanitaria de los residuos sólidos.

#### 1.1.- Efectos sobre el Medio Ambiente.

Se pueden clasificar los posibles efectos sobre el medio ambiente, debido a los desechos sólidos, como sigue:

1.1.1. Vectores Biológicos.- Por vector biológico se entiende cualquier agente vivo que transporta directa ó indirectamente un agente de enfermedad. Así, la basura puede ser albergue y comida para varios vectores como las moscas y los roedores entre

otros.

1.1.2. Peligros Físicos y Mecánicos.- En ocasiones, los botes de aerosol pueden causar incendios debido a su flamabilidad; en otros recipientes puede haber desechos industriales venenosos o inflamables; las botellas y otros desechos en las carreteras pueden causar ponchaduras y otros problemas; estos son varios de los peligros físicos y mecánicos de los desechos sólidos.

1.1.3. Polvos.- Cuando los desechos sólidos son dis-puestos sin ningún control, pueden producir polvos y otros materiales a ser transportados por vientos y otros movimientos eólicos. Este es un grave problema, sobre todo en la Ciudad de México, pues las tolvaneras que azotan el área urbana, levantan polvo del lago de secado del Vaso de Texcoco y de los tiraderos municipales de Santa Cruz Meychualco y Santa Fé, teniendo como fin último, el centro de la ciudad. Estos polvos y materiales similares son agentes indirectos de transmisión de enfermedades, pues en ellos encuentran un vector mecánico numerosas bacterias (esporas) y hongos, algunos de ellos patógenos.

1.1.4. Peligros por Contacto Directo.- En nuestro país es muy común defecar al aire libre y en los tiraderos clandestinos y sin control. En estos sitios, el contacto directo y la falta de higiene, son los principales causantes de enfermedades, algunas de ellas mortales. Además, las condiciones tan malas del almacenamien

to (botes inadecuados, bordes rotos o filosos, cajas de cartón, envases improvisados, etc.), y el que generalmente son niños los que manejan los desechos, nos puede presentar otro cuadro del peligro del manejo de las basuras.

1.1.5. Provisiones de Agua.- En ocasiones los desechos son arrojados en terrenos baldíos o en el traspatio de casas - habitación que no tienen servicio de recolección adecuado. Puede suceder que el traspatio sea un arroyo o algún otro cuerpo receptor de agua.

En el desecho pueden estar presentes sustancias solubles en agua que son transportadas en algunas circunstancias hacia reservas de agua. Estas reservas de agua deben ser potabilizadas para ser usadas en el consumo del hombre y de animales, pero suelen ocurrir casos de ingestión de aguas contaminadas por desechos dispuestos sin control en cuerpos receptores y reservas de agua.

1.1.6. Alimentos.- Los desechos de alimentación y de su manejo a menudo son colocados sin ningún control, convirtiéndose en habitación de roedores e insectos, sobre todo en las zonas de mercadeo. Son de todos conocidas las condiciones de desaseo - en torno a zonas comerciales y mercados, donde abundan los roedores y los insectos portadores de enfermedades; además la apatía de los distribuidores y vendedores de alimentos en cuanto a la higiene personal y de los alimentos, hace aún más complicado el esquema.

de la transmisión de enfermedades por alimentos en contacto con los desechos.

1.1.7. Aspectos Socioeconómicos.- Son múltiples los problemas que surgen al variar los aspectos socioeconómicos y políticos en torno a las basuras. Es de todos conocido el hecho de que los "pepenadores" viven en las peores condiciones de habitación y de trabajo; la promiscuidad y el desaseo son frecuentes en sus comunidades. Muchos municipios no están capacitados técnicamente para resolver problemas de manejo de desechos y, menos aún, para evaluar la eficiencia de sus sistemas de recolección y disposición. No es deseable ahondar más en los problemas sanitarios causados por el manejo ineficiente de los desechos sólidos, pero sí es recomendable impulsar la investigación, sobre todo epidemiológica, de las vías de transmisión de las enfermedades debido a los desechos sólidos y a vectores biológicos que encuentran en ellos albergue, y de la manera de erradicar dichos males.

#### 1.2.- Origen de los Desechos Sólidos.

Los desechos sólidos se pueden clasificar de acuerdo a su origen en: domésticos, industriales, comerciales, institucionales, agrícolas, mineros, hospitalarios, de barrido de calles y especiales. Son domésticos, como su nombre lo indica, los desperdicios sobrantes de la preparación de los alimentos, los empaques y objetos ya sin uso que se producen en las casas habitación. Los demás tipos

de desechos son obvios al nombrarlos y solo se definirán los llamados "especiales". Estos son desperdicios que por sus características físicas, químicas o biológicas requieren manejo especial, por ejemplo: los desechos radioactivos, los lodos de plantas de tratamiento de aguas negras, vehículos abandonados, árboles, restos de animales grandes, escombros de demolición, etc.

### 1.3. - El Sistema de Manejo de los Desechos Sólidos.

Examinemos los sistemas de manejo de desechos sólidos y cómo está constituido un sistema integral de manejo que comprende desde la recolección de los desechos, su almacenamiento, su disposición o tratamiento posible.

La primera fase del "ciclo" de manejo de desechos sólidos es su almacenamiento y la creación de campañas educativas. Los desechos generados son colocados en recipientes más o menos adecuados a su conservación en espera de ser transportados a los sitios en donde serán dispuestos. Este almacenamiento es fase importante, pues un sistema de manejo deberá proporcionar ya sea contenedores para zonas muy populosas o de acceso difícil, o papeleras en zonas comerciales. También puede crear campañas de limpieza (ejemplo: "Ponga la Basura en su Lugar"), y asesorar a la comunidad en la adquisición de recipientes adecuados para su almacenamiento casero. Estos recipientes domésticos deben tener la capacidad suficiente para contener los desechos (generalmente botes de plástico o lámina de

80 litros aprox.), sin bordes filosos, con tapa hermética, forma de cono truncado (más anchos de arriba que de abajo), y deberán colocarse fuera del alcance de los niños, animales domésticos y aguas corrientes.

La segunda fase es la recolección. Generalmente el servicio público de limpieza -aunque existen también empresas privadas- recojen los desechos en los sitios donde se encuentran almacenados, y los transportan hasta los lugares donde serán dispuestos o tratados. Muchas son las formas por medio de las cuales se puede efectuar esta fase del sistema. Los más usuales son los vehículos compactadores y los camiones abiertos de redilas. También son usados otros vehículos pero todos dependen de la cantidad de desechos a disponer, el apoyo económico al sistema y las condiciones locales y particulares de las zonas a servir.

No debe confundirse "disposición" con "tratamiento". La disposición involucra el fin de los desechos sólidos como lo sería el relleno sanitario y el tratamiento involucra una transformación de los desechos y su integración en algún otro sistema de aprovechamiento. Por ejemplo, en el proceso de composteo, los componentes de los desechos que poseen un valor comercial en el mercado, son separados y recirculados junto con materia prima; la materia orgánica es transformada en compuestos orgánicos menos complejos y pueden ser reintegrados al suelo como humus, y el rechazo es enviado, este sí, a

su disposición final en un relleno sanitario.

#### 1.4. - El Tratamiento y la Disposición Final.

Con esta filosofía en mente, sólo existe una sola disposición final; el relleno sanitario y otras variantes menos recomendables - del mismo (tiradero a cielo abierto, relleno higiénico, etc.) Son procesos de tratamiento, además; la incineración, el composteo, la pirólisis, la oxidación, la hidrólisis, etc.

Empieza a sentirse un cambio en la doctrina de considerar los desechos sólidos como desperdicios sin uso futuro. Según la frase de un famoso escritor ambientalista: "los desechos son compuestos fuera de sitio o en un lugar inadecuado". Si se estudian los componentes contenidos en los desechos sólidos, se puede observar que del 5% al 60% son productos que tienen valor comercial (papel, vidrio, metal, madera, trapo, plástico, hueso); se comprende así la razón de los esfuerzos por separarlos y obtener un beneficio económico, además del aspecto social que sería el de disponer o eliminar los peligros sanitarios intrínsecos en los desechos sólidos.

Por lo antes expuesto, los procesos de composteo representan uno de los intentos más serios y de mayor futuro, no solo económicamente sino también desde el punto de vista ecológico, como se verá posteriormente.

El proceso de incineración es poco usual; aunque existen estudios sobre su aplicación en la Ciudad de México, resulta costoso y -



se carece de experiencia a nivel nacional. El proceso de pirólisis parece prometedor aunque los costos son muy elevados. Los demás procesos se encuentran en etapas de investigación y algunos de ellos han sido suspendidos debido a su incoasteabilidad.

En México existen varios rellenos sanitarios, a pesar de que no fueron programados debidamente desde su fase inicial y que empezaron simplemente cubriendo tiraderos, sin control con suelos de terrenos aledaños y sin adoptar procedimientos de protección al ambiente. Los tiraderos a cielo abierto y sin control alguno, son los más comunes en nuestro país y deben ser erradicados lo más pronto posible para evitar que se siga deteriorando el medio ambiente.

#### 1.5.- El Panorama Nacional.

Este es el programa que se ofrece al ingeniero químico y sanitario en México. Los desechos deben ser almacenados, recolectados, transportados, tratados, separados y dispuestos mediante procesos poco científicos, y el ingeniero debe estar preparado para optimizar los aspectos técnicos y económicos mediante las operaciones y los procesos unitarios de ingeniería química y sanitaria que tenga a la mano.

En este estudio se profundizará sobre las aplicaciones de procesos y operaciones unitarios en el proceso de composteo, único método usado en nuestro país para la disposición y tratamiento de los desechos sólidos, aplicando un sistema científico y técnico. Otros

procesos de disposición o son inexistentes o son burdas modificaciones, mal diseñadas, para cubrir una rama de la disposición. Por ejemplo, parte del tiradero de Santa Cruz Meyehualco fué convertido en "relleno" cubriéndolo con un metro de tierra extraída de una excavación cerna, pero sin cumplir con los requerimientos que un relleno sanitario correcto necesita, tales como la inclinación de las pendientes, colocar arcilla impermeable en la cubierta final, la desviación de aguas superficiales, la ventilación de los gases de descomposición, etc.

## CAPITULO II. - COMPOSTEO, TEORIA E HISTORIA.

El "compost", compuesto o composta, es un producto relativamente estable y homogéneo, que resulta de la actividad microbiana sobre los desechos. Los tratamientos o procesos conducentes a la producción de composta, se basan en la habilidad de preparar y acondicionar los desechos de tal manera, que se induzca la actividad microbiana dirigida al metabolismo controlado de los materiales biodegradables presentes, con el objetivo de producir un material inofensivo y útil.

### 2.1.- Historia y Desarrollo del Proceso.

El proceso de incorporar basuras y estiércol al suelo, con el fin de mejorar las propiedades del mismo, se conoce desde muchos siglos atrás. Ya como proceso, superando los problemas de una eliminación casual, dispone los desechos reintegrándolos a la naturaleza.

El método más generalizado consiste en apilar los diferentes desechos (basuras, estiércoles y lodos de tratamiento de aguas residuales) mezclados o separados, en lugares dedicados a dicho propósito, ya sea sobre el suelo o en plataformas o fosas especialmente diseñadas. Este tipo de método requiere de: a) Tiempo -de seis a doce meses- dependiendo de las condiciones climatológicas locales; b) El material tratado; c) Refinamiento del proceso; d) Calidad del

producto final; e) Control de la humedad y líquidos drenados de la masa, y f) Volteo periódico (dos o tres veces al año) del material y, en algunos casos, recubrimiento con tierra ú otro material para proteger contra condiciones climatológicas adversas.

Las investigaciones tendientes a optimizar el proceso empírico del composteo, empezaron en 1925, en Indore, India, donde Sir Albert Howard diseñó especialmente el tratamiento biológico controlado de las basuras, mezcladas con otros desechos, obteniendo un producto aceptable. El proceso, llamado Indore, consiste en depositar capas sucesivas de basuras, estiércoles, excrementos y lodos sanitarios, en zanjas de un metro de profundidad o en pilas de uno o dos metros; la masa es volteada una o dos veces cada seis meses y el líquido drenado reincorporado a la pila, para mantener el nivel de humedad deseado en la masa, y recircular los nutrientes acarreados por el líquido drenado. Como este proceso requiere primordialmente del uso abundante de mano de obra, su uso se ha limitado a sitios donde la mano de obra es abundante y barata.

Una versión modificada, aunque muy similar al Indore, es el Bangalore, donde se acelera la descomposición efectuando volteos más frecuentes (1 o 2 veces por mes o más, inclusive) reduciendo malos olores y obteniéndose la producción de un material más inocuo y estable. Este proceso requiere un control más estricto de su operación y, por lo tanto, mayor uso de mano de obra.

De entonces a la fecha se han diseñado otros muchos procesos, algunos que han sido patentados, usando equipo sofisticado para manejar y separar los desechos, además de controlar los parámetros que aceleran la acción metabólica de las bacterias, tendientes a una estabilización rápida y más eficiente de los desechos tratados. Podemos enumerar los siguientes procesos:

El proceso Beccari, donde los desechos se colocan en celdas y se promueve la fermentación, obteniéndose en un plazo de 20 a 40 días, un producto homogéneo y aceptable. Los procesos Bordas y Vernier, son modificaciones del proceso Beccari, y el proceso de Van Mannen, mejora sobre el proceso Indore, es muy usado en Holanda desde 1932. El proceso Earp Thomas es una edificación de varios pisos con varias aberturas en el suelo de cada piso, a semejanza de un reactor de platos, donde se inyectan microorganismos, humedad y temperatura, obteniendo en el piso inferior el producto ya terminado.

Es importante hacer notar que las diferencias entre los muchos procesos patentados consisten solo en el tipo de equipo usado, su capacidad, y de los sistemas y equipo de aeración.

Así, proliferan las plantas composteadoras en todo el mundo, algunas operadas con provecho y en forma continua, mientras que la mayoría de las plantas instaladas en los Estados Unidos de Norteamérica han fracasado. El éxito o el fracaso de una planta depende

de varios factores, siendo algunos de ellos: el uso dado a la composta, su control de calidad, su discutible valor como fertilizante, su precio, disponibilidad y costo de fertilizantes inorgánicos y de la mano de obra; sobre todo, del mercado para los productos y subproductos de las plantas.

Actualmente las plantas de composteo son enfocadas a la transformación y recuperación de materiales, siendo éstos principalmente metales, papel y cartón, vidrio, trapo y plástico, y la producción de la composta con la porción orgánica remanente; este cambio de enfoque se debió a que resultó erróneo el concepto anterior de la venta de composta con fines lucrativos por parte de municipalidades o contratistas.

El composteo comprende muchos procesos y conceptos sujetos a discusión, además de los problemas de índole técnico, social y político. Sería imposible discutir todas las opciones y alternativas y aplicarlas a los criterios y problemas específicos que puedan presentarse.

## 2.2.- Generalidades sobre Acción Microbiana.

Los componentes en los desechos son muy variados y heterogéneos y pueden ser clasificados en dos categorías principales: materiales orgánicos provenientes de animales y plantas propensos a la descomposición y cambios químicos; y materiales inorgánicos provenientes de fuentes minerales y no propensos a descomposición. En

general, estimamos que los desechos están compuestos de 60% orgánicos y 40% inorgánicos.

La acción microbiana consiste en transformar moléculas más grandes en más pequeñas, en la reducción de complejos orgánicos - iniciales en sustancias más sencillas. Los microorganismos asociados con los desechos, ya sea en su descomposición, estabilización y relación con la salud, pueden clasificarse de acuerdo a sus requerimientos metabólicos (fuente y tipo de nutrientes, fuente y uso de energía, respiración y el medio ambiente), adaptabilidad y grado de actividad ante cambios ambientales, forma y tamaño y relación con la salud.

### 2.2.1. Clasificación de Microorganismos.

Fuente de Energía  
y de Carbono:

Autótrofos (tienen como fuente de carbono el  $\text{CO}_2$ )

a) Fotótrofos (usan la luz como fuente de energía)

b) Quimiótrofos (usan energía de reacciones químicas como fuente de energía)

Heterótrofos (tienen su energía y carbono de compuestos orgánicos)

Presencia de  
Oxígeno

Aerobios (requieren oxígeno ( $\text{O}_2$ ) para sus procesos)

Anaerobios (no soportan la presencia de  $\text{O}_2$  para su desarrollo)

Facultativos (Se adaptan a la presencia o ausencia de  $\text{O}_2$ )

Temperatura de  
Desarrollo:

Crioófilos (se desarrollan a temperaturas muy bajas)

Mesofílicos (se desarrollan a temperaturas medias o ambientales. Su desarrollo óptimo es cerca de 35° C y, en general, no resisten temperaturas superiores a 43° C).

Termoófilos (Se desarrollan a temperaturas elevadas, siendo su desarrollo óptimo entre 55° a 65° C).

pH

Acidofílicos (prefieren medios ácidos, menores a pH 7.0)

Alcalinofílicos (prefieren medios alcalinos mayores a pH 7.0)

Volviendo brevemente a los desechos, podemos distinguir entre los materiales orgánicos dos forma de composición.

### 2.2.2. Residuos de Alimentos y Materiales a Digerir.

#### Principales Constituyentes

<u>Alimento</u>	<u>Proteína</u> %	<u>Carbo- hidratos</u> %	<u>Grasa</u> %	<u>Humedad y otros Mate- riales</u> %
Carne (gan. vacuno)	18.0	0	11.0	71.0
Pescado	8 - 22	0	0.2 - 15	63 - 92
Legumbres (Col)	1.2	5.6	0.3	92.9
(Chícharo)	7.0	16.0	0.5	76.5
(Papa)	2.5	20.9	0.1	76.5
Grasas (Mantequilla)	1.0	0	85.0	14.0



### Materiales que contienen celulosa:

Papel, trapo, cordel, cáscaras de frutas, hierbas, hojarasca, poda de jardinería, etc.

De los constituyentes de la materia orgánica, los microorganismos utilizan como nutrientes o fuentes de energía a las proteínas, los carbohidratos y grasas.

#### 2.2.3. Los Microorganismos y su Habitat.

Los microorganismos aislados son raros de encontrarse en la naturaleza; se presentan más bien en mezclas de varios tipos de organismos. En tales circunstancias, los microorganismos deben desarrollar formas de competencia y supervivencia, limitadas por las interacciones y dependencias entre todos los componentes vivos de la mezcla, el tipo y cantidad de nutrientes y las condiciones ambientales creadas por la misma actividad microbiológica. Es por tanto indispensable considerar en el diseño de un sistema biológico la importancia de estas interacciones e interrelaciones, propiciando el establecimiento del sistema simbiótico apropiado en términos del material procesado y de los productos del proceso.

Así, en el composteo por ejemplo, las condiciones de acidez o alcalinidad pueden determinar el sistema simbiótico predominante. A un pH de 6.5 a 8.5, las bacterias predominan sobre los hongos, a un pH menor a 6.5 los hongos pueden competir con las bacterias, y a un pH entre 4.0 y 5.0 los hongos predominan excluyendo casi a

las bacterias.

En resumen, los microorganismos de importancia en los procesos de composteo son:

- Bacterias mesofílicas, que inicialmente convierten los azúcares, almidón, proteínas y carbohidratos, en ácidos orgánicos más simples.
- Bacterias, hongos y actinomicetos termofílicos, que convierten los ácidos orgánicos en  $\text{CO}_2$  y agua mediante reacciones bioquímicas exotérmicas (con liberación de calor).
- Bacterias, hongos y actinomicetos mesofílicos y termofílicos que atacan materiales difíciles de metabolizar como celulosa y ligninas.

(Los actinomicetos comprenden un grupo muy numeroso de microorganismos afines a las bacterias, pero las células aparecen ramificadas, se amasan en forma similar a los hongos, excepto que las células son de mucho menor tamaño.)

En general, los microorganismos que llevarán a cabo el composteo de los desechos, se encuentran en el desecho mismo y en el medio ambiente. Sin embargo, estas poblaciones no son necesariamente lo óptimo para sostener por sí mismas la estabilización de los desechos en forma eficiente y sanitaria y además rendir un producto deseable.

### 2.3.- Principios de los Procesos de Composteo.

Resumiendo, la operación y proceso de composteo de los desechos con alto contenido orgánico, en función de la acción microbiana, consiste de:

- (1) El conocimiento, acondicionamiento y selección de materiales a ser procesados, así como sus respectivas cantidades, tipos, composición, etc.
- (2) El conocimiento y atención de los requerimientos que resultan en la estabilización de los materiales procesados.
- (3) El control adecuado de los sistemas simbióticos y los sistemas ambientales, durante todas las fases del proceso, y
- (4) El conocimiento de los requisitos y usos que se darán a los productos resultantes de las diferentes fases del proceso de composteo.

Los desechos consisten, como ya se ha dicho, de una mezcla heterogénea de materiales orgánicos (estables y putrescibles) y materiales inorgánicos. La proporción varía entre las diferentes comunidades, debido a razones muy diversas (sistemas de recolección, frecuencia de recolección, clima, costumbres, tradiciones, segregación doméstica de materiales, etc.) Es necesario tomar en cuenta la importancia que tienen los diferentes materiales, tanto en el balance nutricional y su posible interferencia con los procesos biológicos.

cos, como en los requerimientos y problemas de manejo, preparación y proceso de los desechos en función del diseño y operación eficiente de una planta de composteo.

#### 2.4.- Parámetros de Proceso.

Dentro de todas las variables que pueden considerarse en el diseño de plantas, algunas de las más importantes son:

- Contenido relativo de carbón a nitrógeno (Relación C/N)
- Tamaño de partículas
- Humedad relativa y contenido líquido
- Aire-Oxígeno disponible
- Temperatura
- Acidez y Alcalinidad.

2.4.1. Contenido relativo de Carbono a Nitrógeno (C/N) en los desechos, en función directa del carácter y origen de los desechos mismos. Si la relación C/N es muy alta, la actividad microbiana se limitará a la utilización del nitrógeno disponible y al uso de únicamente la cantidad necesaria de carbono para suplir la energía requerida en el metabolismo de nitrógeno incorporado al sistema biológico. Al requerirse un número mayor de ciclos biológicos para consumir el carbono disponible hasta que la relación C/N llegue a un nivel adecuado para el desarrollo óptimo, lo que hace que la actividad biológica esté limitada y su metabolismo será lento para procesar el material que está siendo procesado. Parte del carbono

utilizado (dos terceras partes) es emitido como  $\text{CO}_2$  y la restante - tercera parte es combinada con el nitrógeno para formar materia celular. Al morir las células, el carbono y el nitrógeno vuelven a ser utilizados. El nitrógeno es asimilado completamente y solo parte del carbono de origen celular es vuelto a ser metabolizado por otros organismos. De esta manera, la cantidad de carbono disponible se va reduciendo a medida que cuando menos parte del nitrógeno es recirculado y usado repetidamente en ciclos metabólicos sucesivos.

Si la relación C/N es muy baja, la descomposición biológica es rápida inicialmente hasta que la gran mayoría del carbono es utilizado por los microorganismos. La falta de demanda de nitrógeno, junto con la deficiencia de carbono como fuente de energía, causan que el nitrógeno sea perdido en forma de amoníaco, lavado fuera de la masa en forma de productos nitrogenados (productos parciales de descomposición) y el resto del nitrógeno permanece en la masa en su forma original o en forma de compuestos nitrogenados, productos de una actividad biológica incompleta. Así se realizó un estudio en la Universidad de California (University of California, Reclamation of Municipal Refuse by Composting, Sanitary Engineering Research Project, Berkeley, Cal., June 1953. Technical Report No. 9, Series 37) en el que se estabilizaron dos muestras de desechos sólidos; uno con una relación C/N de 20, tardó 12 días, y otro con C/N de 78, tardó 21 días (bajo condiciones óptimas de aerobiosis y mezclado).

Esto es importante en el producto final, pues si una composta tiene un C/N alto, todavía no está perfectamente estabilizado y tomará nitrógeno del suelo para llevar a cabo su descomposición completa. Así, este tipo de composta resulta ser detrimento para el suelo, así como para las plantas que, de otra manera, usarían ese nitrógeno en sus procesos de desarrollo.

En caso de una composta con C/N bajo, los microorganismos del suelo se apresurarán a tomar el nitrógeno y esta actividad biológica incrementada involucra una reducción del carbono orgánico disponible, afectando la actividad de las plantas.

Dependiendo de la fuente de nitrógeno usada (orgánico o inorgánico), la relación C/N recomendable para la descomposición y estabilización acelerada de basuras orgánicas, debe estar entre C/N - 25 a 40 y en algunos casos, dependiendo de la composición total de los desechos sólidos, esta relación puede ser inclusive más alta, al avanzar el proceso de estabilización, la relación C/N se va reduciendo. Para elevar esta relación, se puede agregar a la mezcla procesada, ya sea papel o paja. Para reducirla, se pueden agregar los lodos crudos del tratamiento de aguas negras, estiércoles animales, restos de pescado u otros desechos orgánicos con alto contenido de material protéico.

En resumen, la relación C/N es un factor importante en la descomposición de los desechos sólidos. Esta misma relación tam-

bién es importante en la calidad del producto terminado, cuando el carbono contenido se encuentra en una forma que puede ser usado rápida y eficientemente por los organismos del suelo, o cuando el período de descomposición activa de los desechos no haya terminado.

Relación C/N para el composteo de Desechos Sólidos.

	<u>C/N</u> <u>Recomendable</u>	<u>C/N</u> <u>Aceptable</u>	<u>C/N</u> <u>Deprimente</u>
Fase inicial del Proceso de Composteo	25 a 40	35 a 60	- 60 (1)
Fase final	10 a 20	20	- 20 (2),(3)

Notas:

- (1) Se requiere añadir una fuente de nitrógeno,
- (2) Se requiere añadir una fuente de carbono, o incrementar el tiempo de retención,
- (3) Si la relación es entre 20 y 35 y el exceso de carbono es material celulósico, la composta es aceptable.

2.4.2. Tamaño de las Partículas. Debido a su gran heterogeneidad en tamaños y componentes, los desechos son difíciles de manejar y asimismo, como resultado de esta heterogeneidad se dificulta el diseño de los procesos de manejo y tratamiento. Casi todos los procesos actuales de composteo incluyen dentro de sus etapas la reducción del tamaño de las partículas, previamente al proceso de estabilización.

El método más efectivo utilizado para este propósito consiste en triturar los desechos antes o después de la selección o extracción de materiales recuperables o detrimentos para los procesos de composteo propiamente dichos. Los objetivos de la reducción del tamaño de las partículas son, principalmente: facilitar el manejo de los diferentes componentes y formar una masa más homogénea de desechos; incrementar la superficie disponible del material, aumentando así la actividad microbiana; facilitar la mezcla de los desechos y asegurar una buena distribución de nutrientes y actividad biológica homogénea y controlada dentro de la masa; por último, romper la estructura original de los materiales, distribuyendo su contenido líquido, reduciendo el volumen de material a procesar. Esta trituración es gruesa al iniciarse el proceso, y ya efectuada la compostificación, al final de la misma, se vuelve a triturar el producto para su venta.

El grado de trituración y el tamaño del material deben estudiarse cuidadosamente y diseñarse de acuerdo con el proceso usado, el equipo disponible y costos asociados con esta etapa del proceso. A medida que se reduce el tamaño de las partículas se reduce la permeabilidad de la masa, y si no se cuenta con sistemas de inyección forzada (a presión) de aire o agitadores, la disponibilidad de oxígeno se reduce en detrimento del desarrollo del proceso biológico. Así, se recomienda la trituración o molienda fina (2 a 3 cm) únicamente para procesos con mezclado mecánico continuo e intermitente



con sistemas de inyección de aire; trituración mediana (3 a 5 cm) - para sistemas con aeración forzada únicamente, y para procesos de pila o en silos con penetración de aire atmosférico, se recomienda la molienda gruesa (tamaño máximo de 10 cm., promedio 5 cm). Pero en todos los casos, las condiciones locales, experiencia y las otras variables del proceso, serán las que dictarán la selección del tipo y grado de molienda, así como del equipo que deberá usarse.

Los equipos más usados para la molienda en seco de los desechos sólidos pueden clasificarse en tres grupos principales:

- Molinos de martillo -con eje vertical  
-con eje horizontal
- Desmenuzadores de cuchilla, y
- Raspadores.

Posteriormente a la molienda, son las cribas las que controlan el tamaño deseado de las partículas; inclusive la eyección de materiales, está diseñada de manera de obtener la separación (balística o por gravedad) de los materiales, de acuerdo con ciertas características de composición (metal, vidrio, papel, etc.), tamaño (polvo) ó hasta forma.

La selección del equipo de molienda para cada caso de cambios en los desechos, se hace tomando en cuenta los requisitos de las plantas, así como el tipo, características, volumen y cantidad de material a procesar.

El costo de la molienda de desechos se ha estimado de 10 a 50 pesos la tonelada, de los cuales aproximadamente un 50% se requieren para gastos de mantenimiento y operación. El costo de la molienda es un reflejo directo, no solo de la cantidad y carácter del material procesado, sino también del grado de refinamiento alcanzado (tamaño final).

2.4.3. Humedad y Contenido Líquido. La humedad disponible de los desechos sólidos es uno de los factores limitantes para el composteo de los mismos desechos. La experiencia indica que para un composteo eficiente, se recomienda mantener el contenido de humedad de la masa entre 55 y 70% (peso húmedo) para operaciones con agitación continua y de 40% a 60% para operaciones en pilas; esto es para desechos sólidos mixtos, ya que para desechos con alto contenido de material orgánico putrescible, un contenido de humedad del 60% es excesivo; en desechos con contenido alto en papel, se aconseja conservar la humedad siempre arriba de 40%. En términos del efecto que el contenido de agua puede tener sobre el diseño de una planta de composteo, es pertinente considerar que:

- Los líquidos presentes en la masa en composteo pueden llegar a reducir la porosidad de la masa (ocluyendo espacios) y pueden interferir con la difusión de aire y reducir la cantidad de oxígeno disponible para la actividad biológica.

-El grado de desarrollo del proceso de digestión es afectado

cuando la resistencia al paso del aire aumenta, y por lo tanto, la cantidad de oxígeno es reducida al densificar la masa por medio de molienda y reducción del tamaño de las partículas.

-El contenido de cenizas y minerales, que son poco absorbentes de humedad, afecta la capacidad de retención de humedad y líquidos, reduciendo la disponibilidad de humedad para la activación biológica, o incrementando la pérdida de líquidos y compuestos en suspensión o solución. Todo esto puede causar la pérdida de nutrientes y retardar la estabilización de los desechos.

La presencia de sales y otros materiales solubles en los desechos, pero especialmente en las cenizas, puede ser factor importante en el diseño y control del proceso de composteo, ya que estos materiales pueden afectar la alcalinidad, acidez y digestibilidad de los materiales orgánicos y, por lo tanto, la estabilidad y uso eventual de la composta producida.

"Estudios del efecto de metales pesados presentes en lodos digeridos usados como acondicionadores de tierras, señalan que la presencia de zinc, boro, plomo y cobre en cantidades de 0.01 partes por millón o mayores, afectan adversamente el crecimiento de plantas e inclusive pueden causar la esterilidad en las tierras" -- (Horvarth, D.J., Proposal to the National Science Foundation, West Virginia University, Morgantown, West Virginia, EE.UU., Nov. 1971).

- Los desechos con altos contenidos en restos de alimentos y

materia vegetal fresca, contienen un alto porcentaje de líquidos (grasas y aceites) en forma líquida, a las temperaturas normales de descomposición. En este caso, la molienda distribuye mejor estos materiales en la masa y en ocasiones llegan a flotar o ser lavados por agua presente.

- La excesiva aereación puede resultar en pérdidas de humedad o en un enfriamiento de la masa composteada.
- La introducción de humedad a una temperatura diferente a la de la masa, afectará la temperatura de la masa.

Por lo tanto, se puede decir que la temperatura de la masa se puede controlar, controlando la temperatura del aire y de líquidos introducidos. Asimismo, se puede controlar la pérdida de humedad en la masa, controlando la humedad relativa y temperatura del aire introducido.

En algunas operaciones y plantas de composteo se usan los sedimentos de aguas negras (lodos), como fuente de humedad y nutrientes adicionales para el proceso biológico. Este tratamiento conjunto puede reducir los costos mutuos de disposición y dilución de materiales (metales pesados) en una masa mucho mayor. El mezclado se puede efectuar de varias maneras. A los lodos se les reduce el contenido de humedad, ya sea por sedimentación, centrifugación o tratamiento químico (coagulación) y posteriormente son integrados a los desechos previamente molidos dentro de un tambor rotatorio.

En algunos casos, se regula el pH de la masa durante esta etapa del proceso.

En casi todos los casos de plantas composteadoras, los líquidos drenados (o lixiviados) de las celdas de composteo, son recirculados a la masa.

2.4.4. Aire y Oxígeno Disponibles. La aereación tiene como principal objetivo proveer a los microorganismos con el oxígeno que requieren para el metabolismo de los nutrientes y materiales orgánicos en descomposición. La forma de introducir el aire y el oxígeno puede ser en forma natural, por difusión de aire atmosférico o por medios mecánicos. La aereación natural es la más simple, pero la menos segura o eficiente. La introducción mecánica se puede lograr por el simple volteo de la masa y haciéndola entrar en contacto con el aire atmosférico a la vez de atrapar el aire durante su acomodo o por la inyección de aire a presión. Los requisitos de aire (oxígeno) de una masa en descomposición varían de acuerdo con cada proceso y tipo de material procesado. Este cálculo de necesidades puede aproximarse de acuerdo a una reacción bioquímica propuesta y a una eficiencia de proceso.

2.4.5. Temperatura. La temperatura óptima para procesos aeróbicos en la fase media y en la fase final de la descomposición de los desechos, corresponde a la necesaria para la actividad de los organismos termofílicos (60 - 65°). La disminución en estas

temperaturas indica que la fase activa del proceso ha terminado, o que existe alguna interferencia para la actividad saludable de los microorganismos (cambio drástico en pH, pérdida de calor a causa de aereación excesiva, etc.) La temperatura alta no solo propicia el metabolismo adecuado para los microorganismos, sino que además elimina los organismos patógenos, huevos y larvas de moscas, semillas de hierbas y otras plantas.

Pero operar a elevadas temperaturas provoca la pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco (por evaporación) o la desnaturalización de las proteínas. Esto sucede sobre todo si la temperatura es mantenida prolongadamente arriba de  $70^{\circ}$ , en condiciones alcalinas (pH 8.5) y si la relación C/N es menor de 30. Como las reacciones bioquímicas exotérmicas, no es muy difícil mantener temperaturas de  $60^{\circ}$  C en la masa durante tiempo prolongado en unidades mecánicas adecuadamente aislada. En el proceso por pilas, la temperatura puede ser mantenida volteando la masa frecuentemente (cuando menos 3 ó 4 veces por semana), reintegrando la humedad evaporada y cubriendo la masa en descomposición con una capa de 5 cm. de composta que sirva como aislante.

2.4.6. Acidez y Alcalinidad. La acidez o alcalinidad (pH), además de medida de los factores limitantes para el proceso de composteo, puede ser usado como índice del desarrollo del proceso mismo. En general, los desechos "crudos" tienen un pH lige-

ramente ácido o neutro (pH = 5.5 a 7.0). Durante los primeros -- días del proceso, el pH baja de 4.5 a 5.5., indicando que la fase - de liquefacción (ácida) está en progreso. Después de cuatro ó cinco días, al mismo tiempo que la temperatura de la masa ya empieza a mantenerse a niveles elevados, el pH sube y llega a un máximo de 8 a 9 al alcanzarse temperaturas elevadas.

#### 2.5. Descripción de Procesos y Equipos Utilizados.

Las plantas de composteo de los desechos sólidos se pueden clasificar en tres grupos principales: plantas y procesos simples no mecanizados; plantas y procesos parcialmente mecanizados, y plantas y procesos mecanizados. La selección del proceso y del diseño de la planta misma, dependerá de variables como: cantidad y tipo - de los desechos sólidos, cantidad y calidad de la composta deseada, demanda de los productos y subproductos, disponibilidad de mano de obra calificada y no calificada, tipo y cantidad de energía disponible, condiciones económicas, posibilidad y mercado para la separación y recuperación de materiales, y otras.

Además se debe tener en mente que una instalación de este - tipo debe reunir todas las características y controles necesarios en una planta industrial y por lo tanto deberá atenderse no solo el problema de la disposición de los desechos y rechazos, sino sobre todo su operación dentro de límites racionales de economía, eficiencia y productividad.

Por todo lo anterior y teniendo en cuenta la variabilidad intrínseca de los desechos, el proceso, así como el equipo y personal seleccionados, deberán ser lo suficientemente flexibles y adaptables a las muchas condiciones que pueden presentarse. Esto representa una cuidadosa selección de las alternativas posibles con cambios en los procesos a realizar, sin interrupciones mayores en la productividad y economía de la planta.

Analizando las opciones básicas, es necesario un esquema de las operaciones básicas y sus propósitos.

- a) Operación: Control de recepción.  
Función: Peso (cantidad) y origen de los desechos recibidos. Primer centro de costo y control administrativo y de producción. Es opcional proporcionar el control del sistema y equipo de recolección. Control de tiempo de descarga y de salida de composta, productos y rechazos.  
Equipo: Caseta de operador y balanzas de entrada y salida, caja de cobro (opcional), reloj.
- b) Operación: Recepción de los Desechos Sólidos.  
Función: Almacenamiento de los desechos. Descarga de camiones recolectores, separación de



materiales objetables (rechazos). Dosisificación del sistema de alimentación.

Equipo: Tolva, Grúa Viajera, Cobertizo, Control de polvos e incendios.

c) Operación: Alimentación.

Función: Transporte de los desechos de la tolva - de almacenamiento hasta la banda de separación de materiales.

Equipo: Banda transportadora de tablillas.

d) Operación: Selección y separación de materiales.

Función: Recuperación de materiales y rechazos. Clasificación.

Equipo: Banda de clasificación. Tolvas de materiales segregados y rechazos. Equipo para el transporte de los materiales segregados y rechazos (bandas transportadoras y contenedores. Separador magnético (opcional en esta fase del proceso; también puede colocarse después de los molinos).

1) Materiales Recuperables (según el mercado existente: papel, vidrio, metal, plástico, etc.)

2) Rechazos: piedras, llantas, envases tetrapak, objetos explosivos, etc.

- c) Operación: Molienda Gruesa.  
Función: Reducción de tamaño, homogeneización.  
Equipo: Molinos y/o trituradores.
- f) Operación: Cribado.  
Función: Control de tamaño máximo de partículas.  
Separación de materiales en composteables y rechazos (también en esta parte del proceso es opcional la separación magnética de materiales ferrosos).  
Equipo: Cribas. Separadores (magnéticos, balísticos, etc. opcionales). Bandas y Tolvas para el manejo de los materiales composteables y de los rechazos. Transportador de cadena del molino a las cribas.
- g) Operación: Digestión.  
Función: Estabilización biológica de los desechos sólidos. Homogeneización. Control de calidad de la composta.  
Equipo: 1) Digestión automática: mezcladoras, dosificadores de productos químicos,

nutrientes, agua, agitadores magnéticos y/o equipo de aereación (opcional), digestores.

2) Digestión en pilas: Transportadores de las cribas a puente móvil, puente móvil con transportador de cadena, banda viajera recosible, dosificadores de agua, trascavos, patios de fermentación.

- h) Operación: Acabado. Molienda Fina.  
Función: Control de calidad. Separación de rechazos. Regreso de rechazos a la digestión o a su disposición final (relleno sanitario). Separación y preparación para venta.  
Equipo: Cribas, molinos de cuchillas o birrotos, banda de cadena, empaçado o envasado.
- i) Operación: Laboratorio.  
Función: Control de Calidad.  
Equipo. Horno secador. Balanza analítica. Equipo para pruebas de carbono, nitrógeno, pH, metales pesados (absorción atómica), análisis microbiológicos, reactivos químicos, etc.

CAPITULO III. - TRANSPORTE DE LOS DESECHOS SOLIDOS  
ALMACENAMIENTO.

Para seleccionar los tipos de transportadores más adecuados, tanto para el proceso de separación de subproductos como para el transporte masivo entre etapa y etapa del proceso, hay que tomar en consideración los materiales que van a manejarse, conociendo sus propiedades de transporte y a la vez otros factores importantes como: requisitos de capacidad, largo del viaje, carga vertical y operación deseada.

Basándonos en la Tabla 7-A sobre Clases de Materiales y Pesos (Perry's Chemical Engineers' Handbook), las características físicas y químicas de los desechos sólidos pueden resumirse de la siguiente manera:

Tamaño: Irregular, pues es fibroso (Grado H)

Habilidad de fluir: Es muy poco fluido pues su ángulo de reposo es de  $45^{\circ}$  o más (Grado 3)

Abrasividad: Es moderada (Grado 7)

Características: Muy ligero y fofo (grado V)

Resiste el excavado (Grado X)

Empaca bajo presión (Grado Z)

Peso Volumétrico:  $160-320 \text{ kg/m}^3$  (a condiciones normales de manejo).

Como ya se mencionó en el diagrama del proceso, se utilizan

dos tipos de transportadores para dos diferentes funciones: uno para la selección y separación de los subproductos y otro para el transporte masivo de los materiales y composta. En la primera operación se utiliza el transportador de banda y en la segunda el transportador de tablillas o de cadena.

Transportadores de Banda. - Estos pueden usarse para manejar prácticamente cualquier material pulverizado, granulado o terroso, si su capacidad es suficientemente grande para garantizar la inversión y si el recorrido es horizontal o en pendientes de ascenso y descenso. Existen limitaciones obvias: que la temperatura no debe ser demasiado alta para no tostar la banda; que ésta no debe quedar demasiado inclinada para evitar que resbalen los materiales, y que la distancia al centro sea dentro del cuerpo de fuerzas de la banda disponible.

### 3.1.- Principios de un Transportador de Banda.

La Banda. - La llamada banda de hule es usada universalmente y está constituida por una carcaza de lona de algodón que proporciona la fortaleza necesaria para transmitir a la polea y dar cuerpo a la banda para poder realizar el transporte de la carga. Se usan varios pesos de lonas, referidos como 28-, 32-, 36-, 42- y 48-onzas (0.794-, 0.907-, 1.020-, 1.190- y 1.360 Kg), que son los pesos de una sección equivalente de 36 pulgadas (91.44 cm.) de largo por 42 pulgadas (106.68 cm.) de ancho. Las diferentes capas son unidas en sus extremos a través de hule. Al empuje en libras nece-

uario para separar capas adyacentes en una franja de una pulgada - (2.54 cm.) se llama "fricción". En los grados normales de la banda, la fricción normalmente es de 12 a 16 libras (9.080 a 10.896 kg.) La acción de unión debe ser suficiente para mantener las capas unidas en servicio, reteniendo a la vez la flexibilidad necesaria para que la banda pueda voltear al final de la polea sin que se separen las capas. La fricción también sirve para la prueba de agua de la banda. Las partes superior e inferior de la banda estarán protegidas por cubiertas de hule. La cubierta inferior protege a la banda de daños por impacto contra las poleas tensoras, previene la impregnación con polvo y toma o transmite la fricción de envío. La parte superior y los laterales de la banda son protegidos por un espesor mayor de hule de alto grado, que resista el impacto de la carga. -- Los diferentes grados de las bandas son referidos por su calidad o resistencia a la tensión de la cubierta de hule, que puede variar entre 800 y 4,000 libras/pulgada<sup>2</sup> (56.3 a 281.5 Kg/cm<sup>2</sup>). La resistencia a la tensión es una medida aproximada, aunque no exacta, de la calidad de resistencia a la abrasión del hule. Los espesores de cubierta varían de 0.062 a 0.5 de pulgada (0.159 a 1.27 cm.) y en ocasiones aún mayores.

Si el servicio es severo, se coloca abajo de la cubierta una cinta "rompedora" de malla abierta para cubrir más firmemente la carcasa y proporcionar mejor resistencia a cualquier acción cortan-

te a que pudiera estar sujeta la cubierta. Esta unión es tan efectiva que es prácticamente imposible separar la cubierta de la carcasa; - así que si ocurriese un corte, éste sería limitado en su acción. La cubierta no debe ser menor de 0.09375 de pulgada (0.24 cm.) de es pesor.

Existen varios tipos de manufacturas de bandas, siendo los - más importantes los siguientes:

a) Banda Encordada. Fajas de cuerdas longitudinales colocadas sobre la carcasa y unidas por hule, componen esta banda. En el fondo, una o dos series de lonas de 42 onzas (1.190 kg.) dan la resistencia transversal. Se dice que ofrece ventajas de mayor resistencia a los impactos debido a su alto porcentaje de hule, fácil acanalamiento, menor porcentaje de estiramiento elástico debido a sus cuerdas paralelas, y que permite un aumento en las capas sin reducción excesiva en su rigidez transversal o en su resistencia al acanalamiento. También parece ser que esta banda tiene mayor resistencia a la infiltración de la humedad y poco peligro de enmohecimiento al ser cortado o magullado. Las bandas encordadas deben vulcanizarse luego de erectas pues las grapas de bandas no pueden ser aplicadas.

b) Bandas con Cables de Acero. Este tipo de bandas permiten tensiones muy altas. Su vida en flexión es mejor que en las bandas normales y con mejor adhesión entre cable y carcasa.

La comparación entre costos de bandas es vital en la decisión. La banda cableada puede costar tres o cuatro veces lo que una banda de construcción usual, pero se eliminan las estaciones intermedias de impulso y, además, tiene una mayor vida.

c) Bandas Especiales. Pueden mencionarse algunos otros tipos de bandas especiales, con goma o aceite que, disminuyendo la superficie de fricción, pueden transportar material en un trabajo ligero: paquetes, correo, etc. Pueden también ser planchas de acero unidas, o lona de fibra de vidrio, para soportar temperaturas altas que lonas normales no soportarían. Aún existen bandas de mallas tejidas para temperaturas muy altas. En casos en que el hule puede reaccionar con alguna sustancia química y afectar sus características físicas, puede sustituirse el hule por otro material sintético, especialmente el neopreno.

Los rodillos son casi siempre tres poleas con el par lateral a  $20^{\circ}$  de inclinación. El espaciamiento de los rodillos, su diámetro y su diseño de cojinetes antifricción, son factores importantes en el diseño de los transportadores de banda. Para servicio ligero, 3 rodillos con los dos laterales a  $20^{\circ}$ , de 4 pulgadas de diámetro (10 cm.) y cojinetes de bola, son los usados para materiales finos o de terrones pequeños y bandas menores de 30 pulgadas (75 cm.) de ancho. Para trabajos de servicio medio pesado se usan rodillos de 6 pulgadas (15.25 cm.) asegurados por medio de discos terminales a marcas



de acero. Para trabajos pesados son similares a los anteriores, só lo que el material de construcción de rodillos, discos y marcas son de mayor resistencia. Existen diseños especiales para casos especiales de manejo de materiales.

Los rodillos deben estar espaciados muy juntos, cerca de la descarga, para que el material no se desborde en las orillas de la banda, y deben diseñarse para amortiguar el choque, pudiendo ser de superficie ahulada, sobre bases elásticas o sobre cojinetes amor tiguantes.

El empuje está suministrado por una polea o una serie de - ellas. Si el impulso es excesivo es posible que el hule no pueda -- transmitirlo a la carcáza, rompiéndose el hule. Además, la polea debe ser lisa en su frente de contacto con la banda para evitar tensiones desiguales sobre la banda.

La banda debe limpiarse una vez finalizado su recorrido, especialmente si el material es pegajoso. Esta operación es a menudo difícil de realizar pero muy importante, sobre todo cuando se usa - una polea de impulso exterior, pues la banda sucia estaría en contacto con ella. Los limpiadores pueden ser raspadores, brochas rotatorias, rodillos helicoidales de hule o series combinadas de todos estos limpiadores.

### 3.2. - Diseño de Transportador de Banda.

Para el diseño de una banda transportadora, primero debe de-

terminarse el ancho, fortaleza y tipo de banda a usarse. El ancho de la banda se determina de acuerdo con su capacidad, peso del material y tamaño de partículas. El espesor de la banda, o sea el número de capas, depende del impulso a que estará sujeta la banda, y la cubierta dependerá del rigor del servicio que proporcionará.

Pendientes máximas para algunos materiales transportados en bandas:

Material	Angulo máximo en grados
Tierra sucita	20
Ladrillos	10
Grava	18
Granos	15
Arena mojada	20
Arena seca	15
Virutas de madera	28

Capacidad de transporte en  
Bandas

Ancho de Banda (pulgadas) Toneladas de 2,000 libras de material por hora a 100 pies/minuto en la velocidad de la Banda.

Peso del material en libras / pie<sup>3</sup>

	30	40	50	75	100	125	150
12	7	10	12	18	24	30	36
14	10	14	17	25	34	42	51
16	13	18	22	33	44	55	66
18	17	22	28	42	56	70	84
20	20	27	34	51	68	85	102
30	47	63	79	118	158	198	237
48	130	172	215	322	430	538	645
60	207	275	345	512	690	862	1035

La capacidad en tonelaje es proporcional a la velocidad; por ejemplo: a 200 pies / minuto, las toneladas por hora serán el doble de los valores de la tabla.

Velocidades Máximas de Banda

Ancho de Banda (pulgadas)	Materiales flojos como: grano y arena seca	Materiales moderados en flojo y tamaño, grava y carbón	Materiales terrosos o abrasivos como piedra molida	Materiales muy abrasivos como piedra, coque
12, 14	400	250	---	---
16, 18	500	300	250	---
20, 24	600	400	350	250
30, 36	750	500	400	300
42, 60	850	550	450	350

Nota: Las recomendaciones proporcionadas están sujetas a las prácticas de descarga, ángulo de inclinación, equipo auxiliar, etc.

Si la descarga del material es en dirección del viaje de la banda, se inclina un poco y se descarga en una punta, las velocidades pueden exceder los valores de la tabla; en general las bandas anchas pueden ser operadas a velocidades grandes ya que el material se acarrea mejor, no se mueve mucho y por lo mismo causa menos erosión.

El espaciamiento de los rodillos depende del peso del material, pues si los rodillos están muy separados, el hueco es excesivo y se pierde potencia, se aumenta el uso de la banda y, si la banda es inclinada, el material puede desbordarse debido al impacto de los rodillos transportadores.

Anchos Mírimos de Banda para  
Terrón y Espaciamiento de los Rodillos

Ancho de Banda (pulgadas)	Material de 50 lbs.			Material de 100 lbs.			Material de 150 lbs.			Retorno (pies)
14	5'6"	2	3	5'0"	2	3	4'6"	2	3	10
24	5'0"	4.5	8	4'6"	4.5	8	4'6"	4.5	8	10
36	5'0"	8	14	4'0"	8	14	3'6"	8	14	10
48	4'0"	10	20	3'6"	10	16	3'6"	10	16	9
60	4'0"	12	28	4'0"	12	28	4'0"	12	28	9

Por material sin tamaño se señala que el 90% es menor del tamaño máximo y que el 75% no está sobre .5 de pulgada.

La potencia requerida para mover una banda está especificada por el fabricante, pero se puede citar un ejemplo:

Para banda vacía, 30 pulgadas por centros de 312 pies	3.50 HP
Para mover la carga horizontal	2.80 HP
Para levantar la carga	<u>18.00 HP</u>
	24.30 HP

En el catálogo del fabricante encontramos que una banda de lonas -- con 5 capas de 36 onzas y a una velocidad de 250 pies/min. con un impulsor de amortiguador retrasado en 30 pulgadas, se pueden transmitir 29 HP. Como nuestro material tiene grandes diferencias en tamaño, se podría seleccionar una banda con capas de 6 pies en vez de la de 5 pies que habíamos seleccionado. Este exceso en la poten-

cia es estimada al considerar que el impulso será uno para bandas y poleas limpias, y otro, el de operación, el real, bajo otras condiciones que requirieren mayor potencia.

También los fabricantes especifican la potencia de las poleas, y para una polea de amortiguador retrasado, para banda de 30 pulgadas, la tensión mínima lateral  $T_2$  para las condiciones de nuestro ejemplo sería de 1388 lb. Asumiendo un arranque automático vertical, su peso incluyendo el de la polea, las marcas y el contrapeso, debemos doblar este dato a 2776 lbs.; entonces las tablas dan como diámetro de la polea cabezal como de 30 pulgadas, polea trasera o caudal de 24 pulgadas y la polea amarrada de 18 pulgadas.

El Motor. Un motor de alta velocidad que cuesta poco y que ocupe menos espacio es preferible a un motor de baja velocidad, así que debe existir un reductor de velocidad entre el motor y la flecha. Un torque considerablemente mayor se requiere para arrancar el transportador de banda que para mantenerlo a una velocidad dada, especialmente si en ocasiones tiene que permanecer sin operación y a la intemperie, pues la grasa en los engranes puede modificarse. Mientras opera, el transportador funciona a velocidad constante con variaciones poco frecuentes al descargar. Es deseable tener un motor con la mayor eficiencia y de factor potencia como lo sería, en nuestro caso el fabricante asegura, el motor de usos generales de tipo jaula de ardilla.

Al discutir los elementos de la teoría de transportadores de banda, se observa que el tópico más costoso es la banda. Aunque el impulsor a la banda tiene poca diferencia, ya sea que la banda sea un poco más ancha o más gruesa que la teóricamente necesaria en un transportador de banda de gran capacidad y de gran recorrido, muchos de los costos dependen de la selección correcta de la banda y partes integrantes, método apropiado de impulso y otros detalles de diseño.

### 3.3.- Operación y Mantenimiento.

El transportador de banda tiene muchas aplicaciones pero es el más vulnerable de los transportadores, y no debe sujetarse a un mal uso o a negligencia. Los transportadores mecánicos está protegidos por cojinetes de sobrecarga, pero son éstos de poca utilidad en los transportadores de banda pues las contingencias que pudieran dañar la banda no están acompañadas de cargas pesadas. Las protecciones contra las más frecuentes causas de daño, las malas alineaciones, se evitan con los rodillos autoalineantes. La banda debe correr centralmente si el empalme es cuadrado, los rodillos y polea terminal, la descarga es central y la banda lo suficientemente flexible para reposar en los rodillos centrales de transporte. Si una sección se sale de la alineación, los problemas surgirán desde el punto en que la deflexión empieza a presentarse. Antiguamente se colocaron directores de banda pero lo único que hacían era alterar los bordes de la banda.

La práctica general indica colocar rodillos autoalineantes cada 50 o 100 pies de recorrido.

Una banda jamás debe ser ajustada aumentando la tensión, lo que conduciría a esfuerzos inútiles en la carcaza al aumentar la potencia de impulso y aplanar el tejido, lo que usualmente agravaría el problema en vez de resolverlo.

Los rodillos modernos requiere menos atenciones y una lubricación demasiado frecuente puede causar más daños que una menos frecuente. Un rodillo atascado o discos finales sueltos son cosas que deben evitarse.

El método de carga también es importante, particularmente en materiales muy agrupados. Debe colocarse una tolva con descarga inclinada a un ángulo amplio para que los materiales no se acumulen en la tolva.

Los limpiadores deben efectuar su función a lo largo de toda la extensión de la barra de la banda en contacto con las poleas de impulsos. Estos limpiadores deben mantenerse siempre libres de material y ser reemplazados o reparados de inmediato al empezar a tener fallas en la limpieza.

Si un transportador de banda inclinada maneja materiales flojos, puede suceder que los materiales no tengan suficiente agarra a la superficie de la banda en su camino de ascenso. Esta condición difícil y peligrosa podría evitarse si el punto de alimentación se hi-



ciera en el ascenso para que suba antes de que se inunde.

Datos de operación. Las toneladas manejadas y los costos de operación para sistemas de bandas largas son muy importantes. Los costos de mantenimiento en instalaciones industriales son difíciles de estimar pues los costos totales no son segregables; los costos por tonelada pueden incluir los de la tolva de alimentación, molino, limpiadores, etc.

Los costos por tonelada manejada dependen de lo apropiado de la banda, de la habilidad de instrumentación, largo de la banda, el material manejado y la frecuencia de daño a la banda.

Se pueden resumir los varios puntos de operación y mantenimiento en una pequeña lista de tópicos:

- Una banda puede durar diez años en vez de dos, con un buen mantenimiento.

- Este mantenimiento "milagroso" se logra con un poco de tiempo adicional para un perfecto mantenimiento.

- Como muchas de las condiciones dañinas surgen luego de instalada la banda sobre el transportador y estas condiciones determinan la vida útil de la banda, cualquier estimación de toneladas futuras o años de servicio pueden modificarse en gran medida.

- La tela en la banda proporciona la fuerza estructural; realiza todo el trabajo y transporte de la carga. El hule protege a la tela de los materiales abrasivos, golpes cortantes y corrosión. Esta

protección por parte del hule depende de que los golpes no rebasen el límite elástico de este material, pudiendo crearle grietas o rupturas posibles.

Potencia. En el impulso a un transportador de banda, el equipo se compone únicamente por el equipo de potencia; potencia para impulsar la banda vacía, mover la carga contra la fricción de las partes en rotación, elevar o bajar la carga, sobrellevar la inercia de poner el material en movimiento y operar el volteador de la banda si fuere necesario.

En todos los casos de bandas, es aconsejable guiarse por fórmulas y constantes de los fabricantes que son específicos en los cálculos. Un ejemplo es la tabla siguiente, proporcionada por un fabricante (Perry's Chemical Engineers' Handbook).

La banda de subproductos se mueve a una velocidad adecuada de 44 m/seg. propia para que los clasificadores puedan separar los subproductos de interés. A cada lado de la banda se colocan tolvas alimentadoras a otras bandas que llevan los subproductos a concentrarse en contenedores colocados en sus finales. El papel seleccionado es concentrado en dos bandas con cuatro seleccionadores, y posteriormente empaçado, previo a su transporte para su venta.

El vidrio es clasificado de acuerdo a su color y cada selección es alimentada en su banda individual por tolvas a los lados de los dos seleccionadores. Lo mismo sucede para el plástico, trapo

y hojalata. Con respecto a todo el material ferroso no recuperado en la banda, éste puede ser extraído por un electroimán luego de ser molida la masa de materiales.

### 3.4.- Transportador de Tablillas y Cadenas.

Se usan los transportadores de tablillas para materiales no muy abrasivos y los transportadores de cadena para los que, por su reducido tamaño, pueden causar mayor abrasión sobre las partes mecánicas movibles.

Los transportadores de tablillas pueden trabajar a pendientes de 40 a 45° pero a una reducida capacidad, siendo lo más común que se usen a 25° y a capacidad regular.

En pendientes superiores a esta inclinación, se debe proporcionar una profundidad a las tablillas para evitar la caída en cascada de los materiales. Debido a la gran diferencia de materiales -- que se alimentan en los desechos sólidos, los transportadores de tablillas y cadenas deben afrontar grandes variaciones en los coeficientes de fricción; se utilizan varios compartimentos para efectuar el confinamiento.

Para su selección y diseño se examina su capacidad, la posible carga y ascenso y el tamaño de los materiales a manejar. Para operaciones moderadas, con baja capacidad y pequeños terrones, un transportador simple de tablillas puede ser adecuado. Para grandes capacidades y servicio activo un transportador de doble compartimien

to podría operar, pero sería preferible reemplazarlo por un transportador de banda.

Las tensiones en los transportadores de cadena puede ser tan grandes que podrían provocar separación en los pernos y, ocasionalmente, hasta su ruptura. Además, se encuentran limitados a partículas con terrones pequeños que no obstruyan los eslabones.

Capacidad y Tamaño de Terrón  
Manejado por Transportadores de Tablillas.

Ancho y Profundidad (pulgadas)	Cantidad de material por pié de transporte por pié <sup>3</sup>	Capacidad aprox. para 50 lbs. de material a 100 pies por min <sup>2</sup> Tons / Hora	Tamaño Terrón (pulgadas)	
			Terrón no exceda más 10% Vol. Total Compartimento Simple	Doble
12 por 6	0.40	60	3.5	4
15 por 6	0.49	73	4.5	5
18 por 6	0.56	84	5.0	6.0
24 por 8	1.16	174	---	10
30 por 10	1.60	240	---	14
36 por 12	2.40	360	---	16

Si el transportador es inclinado, multiplique la capacidad horizontal por 0.90 para 20° a 25°; por 0.80 para 25° a 30°; por 0.70 para 30° a 36°. Los materiales de flujo libre pueden avanzar pero también avalancharse para atrás.

Los transportadores de cadena pueden ser cargados hasta una

profundidad limitada y la velocidad de la misma debe ser baja. Los datos siguientes son para cenizas con peso volumétrico de 5 lb./pie<sup>3</sup> pero bien podrían ser para composta.

#### Capacidad de los Transportadores de Cadena.

Velocidad: 10 pies/min. Profundidad: 6 pulgadas. Peso: 50 lb/pie<sup>3</sup>

Ancho del canal (pulgadas )	Capacidad Ton/hora
10-1/2	4.5
13	6
16	7.5
20	9.5

#### Cálculos

Primero calculamos el impulso a la cadena. Para un transportador horizontal de tabillas, tenemos:

$$CP = ( 2 \times V \times L \times F ) \div ( W_1 \times F \times F_1 )$$

Donde CP es el impulso a la cadena, en libras;

V es el peso por pie de las partes deslizantes del transportador;

L la longitud en pies del cabezal a la terminal;

F es el coeficiente de las partes deslizantes del transportador;

W<sub>1</sub> es la carga del material por pie de transportador

F<sub>1</sub> es el coeficiente de fricción entre el material y el transportador (en el caso de desechos sólidos se puede considerar entre 0.35 y 0.40 dependiendo de su riqueza o pobreza en materiales grandes).

Para cálculos posteriores, se debe estimar el esfuerzo neto - (CP) más un 10% por pérdidas de fricción entre engranes cabezales y terminales, más un 10% por pérdidas en los engranes de reducción, y si las condiciones lo ameritan, otro 10% por oleaje. Todo esto se le considera el esfuerzo bruto. Así, la potencia del motor debe ser:

$$\text{Motor (HP)} = \frac{\text{Esfuerzo Bruto} \times \text{Velocidad, Pie/min}}{33,000}$$

Las especificaciones para los transportadores de tablillas están normalizadas para condiciones promedio y los fabricantes proporcionan datos completos de tamaños, pesos, capacidades, velocidades recomendadas y requisitos de potencia.

En el proceso de composteo se utilizan los transportadores de tablillas para dosificar la alimentación a la banda de clasificación; el transportador de cadena con un marco de protección para operación continua, lleva el material recién triturado en el molino hacia las cribas vibratorias; y el último transportador de cadena, de operación intermitente, realiza la alimentación al molino de finos. Además, se utilizan transportadores de bandas para movilizar los subproductos, la banda viajera que recibe los materiales cribados y los transporta hasta el puente móvil donde se formarían las pilas.

El puente móvil, el que realiza la formación de las pilas de material a dirigir, está constituido por dos carros motrices en los extremos que están ligados por una trabe maestra general de soporte. De esta trabe penden los colgantes que suspenden un transportador de

cadena (distribuidor en el patio). Colocando el puente en posición, el producto proveniente de la banda viajera cae sobre una tolva de alimentación colocada sobre el transportador. Este último conduce el producto y lo deja caer inmediatamente formando la pila, la que al alcanzar la altura del transportador, actúa como piso obligando al producto a salir un poco más adelante hasta volver a alcanzar dicha altura, y así sucesivamente, hasta alcanzar la estación de mando, formándose una pila piramidal de 6 m x 25 m. de base y 3.5 m. de altura, donde el producto empieza su período de fermentación.

Transportador de:	largo m.	ancho m.	velocidad m/seg.	capacidad ton/hora
Tablillas en la posición 3	5	2	44	10
Banda, en la posición 5	22	.9	44	10
Banda, en la posición 6	16	.9	44	10
Cadena, en la posición 10	18	.9	36	10
Banda, en la posición 12	75	.9	44	10
Cadena, en la posición 12	0.5	.9	44	10
Cadena, en la posición 14	16	.6	32	10

Estos datos son para una planta de composta de 500 ton/día,

en tres turnos y de digestión en pilas.

Además de los anteriores transportadores, los materiales son movidos por un bulldozer que transporta y realiza los volteos en los primeros períodos del composteo. Su costo, gasto de operación, - combustibles, depreciaciones, etc. son divididos entre la cantidad de productos transportados en un año de labores; este dato de costos de operación se anexarán a los costos totales de la planta.

### 3.5.- Almacenamiento.

El almacenamiento del desecho, y el equipo usado para almacenar esa reserva, proporcionan un flujo nivelado del desecho a través de la planta.

Se consideran tres tipos de almacenamiento basados en el equipo usado: depósito, toma del material, y el control de su movimiento. En una planta de composteo existen varias formas de depósito: en las tolvas de recepción, en las pilas de fermentación y las pilas ya fermentadas.

La tolva de recepción, como su nombre lo indica, es donde los camiones recolectores de desechos vacían su contenido; de la tolva los desechos son alimentados a la línea de proceso que empieza en el transportador de tablillas. La tolva de recepción se calcula con el doble del volumen que ocuparía el material recibido por día. Factor importante es el peso volumétrico, grado de compactación a que se recibe el desecho al ser transportado en el camión y

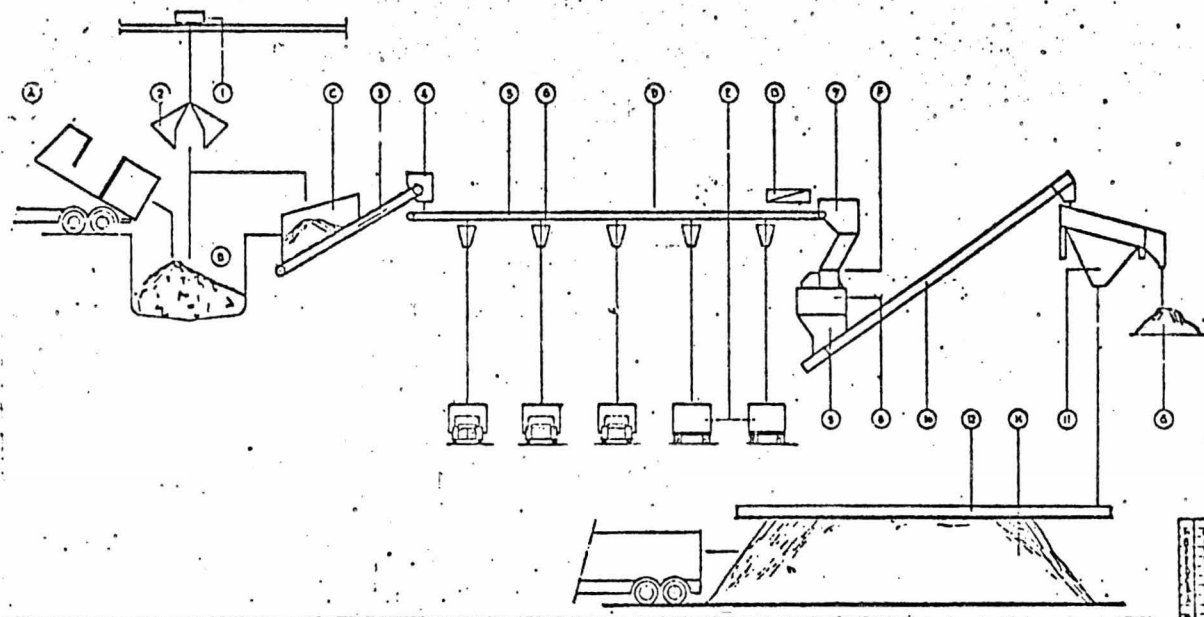


los días de operación de la planta.

El peso volumétrico es la relación de peso a volumen que tiene como característica un material, y este parámetro se ve incluido por las diferencias entre las distintas estaciones del año, días de la semana, situación geográfica, actividad comercial de la población, desarrollo económico de la fuente generadora (nivel socioeconómico), composición, hábitos de consumo, etc. En México, este peso volumétrico varía de 100 a 350 kg/m<sup>3</sup> entre el Norte y el Sur del país; por ejemplo. Este es su peso en condiciones normales de trabajo. Pero si este material viene en camión compactador, este peso volumétrico varía de 250 a 500 kg/m<sup>3</sup>.

Los días de operación de la planta son importantes pues siempre quedará un remanente de los días anteriores en la tolva, que se acumulará a los desechos recibidos, por lo que la planta deberá operar con más material que el que se recibió durante el día.

Generalmente, en el diseño de la tolva de recepción se estima un peso volumétrico entre 175 y 250 kg/m<sup>3</sup> dependiendo de su contenido en papel, cartón, plástico y su valor compactado en camión. A mayor contenido en papel, etc. y menor compactación, menor será el peso volumétrico y mayor el tamaño que debe tener la tolva; a menor contenido de papel, etc. y mayor compactación, los parámetros se invierten, siendo menor su peso volumétrico y menor su requerimiento de volumen para la tolva de recepción.



- |   |                         |    |                          |
|---|-------------------------|----|--------------------------|
| A | Rampa de Acceso         | 7  | Tolva de Entrada         |
| B | Tolva de Recepción      | 8  | Molino                   |
| C | Tolva de Alimentación   | 9  | Tolva de Salida          |
| D | Clasificación           | 10 | Transportador            |
| E | Manejo Subproducto      | 11 | Criba                    |
| F | Molienda                | 12 | Transportador Repartidor |
| G | Rechazos                | 13 | Separador Magnético      |
| H | Composta                |    |                          |
| 1 | Grúa de Recepción       |    |                          |
| 2 | Mandíbula               |    |                          |
| 3 | Banda de Tablillas      |    |                          |
| 4 | Tolva de Salida         |    |                          |
| 5 | Banda de Clasificación  |    |                          |
| 6 | Tolvas de Clasificación |    |                          |

Diagrama de una Planta de Recuperación de Residuos Sólidos. Recepción, Clasificación, Molienda y Cribado.

Las pilas de fermentación son formadas por el puente móvil y generalmente son piramidales, de 6 m. de ancho y 3.5 m. de alto, - variando su largo de acuerdo al tamaño del patio de fermentación. El material que forma la pila se encuentra triturado y su peso volumétrico se ha elevado a 275 - 400 kg/m<sup>3</sup>. Si se toman los datos anteriores de dimensión de pila, en los 525 m<sup>3</sup> de pila se encuentran -- 145 - 210 toneladas de material. Todos estos cálculos son importantes al estimar la capacidad y dimensiones del patio de fermentación. Si, por ejemplo, se estiman 300 ton/día, 5 días de operación por semana, la capacidad de la planta unicamente de material composteable y que el período general de maduración sea de 14 días, se requerirían 1,090 - 750 m<sup>3</sup> diarios o sea, 2.07 - 1.43 pilas diarias (525m<sup>3</sup> por pila); 10,900 - 7,500 m<sup>3</sup> de volumen total, 20.7 - 14.3 pilas totales que ocuparían 3,105 - 2,145 m<sup>2</sup> de superficie. Con estos datos, se necesitaría un patio de fermentación de 25 m. de ancho y el largo variaría de 124 - 85 m. dependiendo del peso volumétrico encontrado (una pila tiene 150 m<sup>2</sup> de base, por lo que 3,105/150 = 124 y 2,145/150 = 85). Estos cálculos deben multiplicarse por un factor de seguridad de 1.2, dándonos como dimensiones definitivas para el patio de fermentación 25 m. de ancho y 150 y 105 m. de largo. Al término de los 14 días, 2 ó 1.5 pilas pueden enviarse al patio de -- post-fermentación y ser utilizadas para el material obtenido el 15o. día. Por otra parte, este patio de fermentación debe tener una incli

nación y un drenaje para controlar que los líquidos percolados o licorres o jugos de los desechos se puedan desalojar del patio y no causen problemas de albergue a insectos. Generalmente, una inclinación de  $4^{\circ}$  es suficiente para el escurrimiento, y el patio es construido de concreto.

Del patio de fermentación las pilas son llevadas a los 14 días, una vez digerida una buena porción del material degradable, al patio de post-fermentación, donde permanecen de 3 a 4 meses antes de ser llevadas a la molienda fina. Las pilas son formadas por los bulldozers y generalmente son de estructura piramidal, de dimensiones de 6.5 m x 50 m. x 3.5 m. En el cálculo de este patio, se considera el mismo peso volumétrico (aunque sea incrementado alrededor del 5% por efecto de descomposición de la celulosa y por ser ligeramente higroscópico). Así, este patio debe tener una superficie de 15,000 m<sup>2</sup> (50 m x 300 m.), si fuesen a permanecer las pilas tres meses en este sitio.

Hay tres formas de tomar el material, siendo éstas intermitentes: la grúa de almeja, la separación de subproductos y la alimentación al molino birrotor.

La grúa de almeja es un dispositivo que toma los desechos colocados en las tolvas de recepción y que alimenta a los transportadores de tablillas. Esta grúa es operada electrohidráulicamente y se compone de seis mandíbulas que, al cerrarse, encierran un volumen

de 1,5 m<sup>3</sup> o sea, toma de 300 a 400 kg. de desechos sólidos. El ciclo de la grúa dura 3 min. 23 seg. y se inicia al tomar el desecho, subir hasta el puente, moverse a lo largo del puente, bajar hasta el transportador de tablillas, soltar el desecho, subir, moverse a lo largo del puente, hasta volver de nuevo al punto de toma de muestra, bajar hasta el desecho y cerrar sus mandíbulas.

En la separación de subproductos existen varios factores difíciles de evaluar. En los sistemas manuales de separación mucho importa la experiencia de los seleccionadores o pepenadores, lo contaminado del propio material, el mercado para subproductos, incentivos laborales, velocidad de banda, y la composición del material mismo.

La alimentación de material completamente degradado al molino birrotor se hace dependiendo del mercado, y se efectúa por medio de un trascavo o carretillas manejadas por peones; alimentando a un transportador de cadena que descarga al motor birrotor. Según las necesidades del mercado sólo aquella cantidad de composta fina será elaborada a partir de la composta gruesa.

El control del movimiento de los desechos y materiales se puede planear con el control de los camiones que entran a la planta, la consola de mando de la maquinaria y del control de calidad realizado en el laboratorio (ver capítulo sobre laboratorio).

#### CAPITULO IV. - REDUCCION DE TAMAÑO.

Los desechos son usualmente triturados o molidos para aumentar su manejabilidad y la operación de digestión. La mayoría de las máquinas usadas fueron generalmente diseñadas para materiales de tipo homogéneo y siempre se han tenido que adaptar o improvisar para usarse en desechos sólidos.

La reducción de material de gran tamaño desigual a tamaños intermedios uniformes o sustancialmente menores, es llamada ruptura, trituración o corte. La reducción a tamaños finos o polvos es dado como molienda, pulverización, desintegración o dispersión. Los dos objetivos inmediatos de la reducción de tamaño son obtener productos que cumplan limitaciones de tamaño, y producir materiales que cumplan requisitos específicos de superficie. Como en la mayoría de las operaciones la reducción se liga a la economía, y el grado de reducción es determinado últimamente por el costo de la operación (costo inicial y de operación) contra el logro del valor y utilidad del material producido. Los objetivos últimos son numerosos. La producción de superficies para obtener y desarrollar una reacción química es a menudo un requisito, como lo es para el composteo y en los procesos de digestión.

El material que se alimentará al equipo de reducción, debe ser analizado en sus propiedades como sólido, siendo sus caracterís-

ticas más importantes para esta operación: su tamaño lineal, superficie, dureza y estructura. Los desechos contiene gran variedad de estos parámetros, pero el parámetro de dureza es importante de ser controlado. A esta dureza se le conoce como molibilidad, o sea la medida de las características de molido del material. Otros factores que afectan las características de molido del material son: agua de combinación, higroscopicidad, tendencia a flocular y aglomerar, combustibilidad y sensibilidad a cambios de temperatura.

La relación de reducción es la razón entre el tamaño de ali-mentación y el tamaño del producto de la operación de molienda. La superficie específica (s) es expresada como la superficie por unidad de peso o volumen.

En los desechos sólidos su gran heterogeneidad impide efectuar un diseño específico del equipo para efectuar el molido, y solo se podrían regular las condiciones de molienda para cualquier tipo de material alimentado y regular el producto para que éste sea capaz de cumplir con los requisitos de operación.

Este ha sido el campo de mayor investigación realizado en torno a los desechos sólidos, pero todavía no hay nada escrito como definitivo y es muy difícil tratar teóricamente su operación. Se puede decir que el molino ideal tendría (1) gran capacidad; (2) pequeña entrada de potencia por unidad del producto y (3) proporcionar un producto de tamaño simple y de la distribución deseada. Pero las discre

pancias entre lo ideal y lo real son considerables y no ha sido posible explicar teóricamente estos abismos. Pero por otro lado, suficiente información cuantitativa es obtenible de la teoría incompleta que se tiene a la mano.

El principal equipo utilizado en esta operación han sido los molinos de martillos. Estos molinos contienen un rotor de alta velocidad girando dentro de un receptáculo cilíndrico. La flecha es usualmente horizontal. La alimentación que se hace por la parte superior del recipiente es triturada y sale por una abertura inferior. Las partículas son trituradas por una serie de martillos oscilantes unidos a un disco rotatorio. Ninguna partícula alimentada a la zona de trituración puede escapar sin ser golpeada por los martillos. Las partículas se fragmentan en varios pedazos que chocan contra una quijada fija dentro del recipiente y se fragmentan en porciones aún más pequeñas las que, a su vez, son impulsadas por los martillos a salir por un enrejado o criba que cubre la abertura de la descarga.

Varios discos rotatorios, de 6 a 18 pulgadas de diámetro y cada uno con 4 a 8 martillos oscilantes son a menudo montados sobre la misma flecha. Los martillos pueden ser barras rectas de metal con puntas alargadas, planas o afiladas en una orilla cortante. Molinos intermedios de martillos pueden producir un material de una pulgada a 20 mesh en tamaño de partícula. En molinos finos de martillos, la velocidad periférica de las puntas de los martillos alcanzan



22,000 pies/min., pudiendo reducir de 0.1 - 15 ton/hr. a tamaños - más finos que 200 mesh. Los molinos de martillos pueden moler casi cualquier cosa, y esta es la razón principal de su uso.

Su capacidad y requisitos de potencia varían grandemente con la naturaleza de la alimentación y no puede estimarse con confianza a partir de consideraciones. Es mejor recurrir a publicaciones informativas o hacer pruebas a pequeña o mediana escala para molinos - con una muestra de material actual a moler. Un molino comercial - típico puede reducir de 100 a 400 lb/hr por caballo-hora de energía consumida.

Una criba cilíndrica usualmente cubre total o parcialmente la salida del rotor, razón de alimentación y el vacío entre los martillos y las quijadas fijas, así como cambiando el número y tipo de martillos usados y el tamaño de las aberturas en la descarga; la criba - en la descarga sirve como un clasificador interno pero su área limitada no permite usarla efectivamente cuando se requieren aberturas muy pequeñas. Para cumplir especificaciones de tamaño máximo, crítico para operaciones de mediana escala, el molino de martillos puede operarse en circuito cerrado con cribas externas de mayor área de las usadas en el molino mismo. Así, la criba de descarga - tiene entonces aberturas grandes para retener el material de mayor tamaño dentro de la zona de molienda.

Debido a que los desechos son muy abrasivos, los martillos

del molino deben reacomodarse o reemplazarse con frecuencia. Un martillo está gastado cuando entre la superficie gastada y el perno del - martillo existen solo 50 mm. Para un desgaste uniforme de todos - los martillos, los dos exteriores y los dos interiores se intercambian con frecuencia, cuando el desgaste ha llegado a aproximadamente al - 50%, o sea la distancia entre la superficie de golpeo y el perno sea de 80 mm. Si el desgaste ha llegado a su máximo, se pueden voltear - los martillos para trabajar sobre la cara trasera. Al llegar a su máximo en estas condiciones, debe sustituirse todo el martillo. Al colocar los martillos, los martillos opuestos en la carcaza deben ser de igual peso para evitar un posible desbalance. Datos reportados de una planta de composta (50 ton/día) en Johnson City, Tex. E.U.A. encontraron que los martillos deberían reemplazarse luego de 30-40 horas - de servicio.

Dado que los molinos de martillos operan de 1,200 a 3,500 - rpm, se produce ruido y vibración. Las máquinas, por lo tanto, deben montarse sobre materiales amortiguantes y la tolva de alimentación debe ser flexible o tener una conexión que evite dichos problemas.

A los molinos alimentados con desechos "crudos" deben ser - protegidos contra materiales de difícil molido y alta molibilidad. Del material a moler deben separarse los plásticos, cables, material alimentado, explosivos, envases tetrapak, medias elásticas, objetos vo-

luminosos, líquidos químicos y otros materiales que pudieran acelerar el desgaste de los martillos o que impidiesen su libre oscilación.

Si son muy variados los tipos de molinos, son mucho más los usos que se dan a los desechos triturados. En los procesos de composteo se utiliza la molienda para que al aumentar la superficie expuesta al oxígeno de aereación natural o forzada, se acelere el proceso de digestión aeróbica. También ha sido usada para reducir los objetos muy voluminosos en la alimentación para rellenos sanitarios o incineradores. Para los rellenos sanitarios, los desechos son triturados sin un control estricto de los productos molidos y es sólo para no dejar huecos en los que se acumularían gases de descomposición y además, aumentar la vida útil del propio relleno. Se ha aplicado esta técnica de molienda en rellenos higiénicos donde los desechos son triturados a un tamaño máximo de 1 cm. y son colocados en capas de 1 pie de profundidad, sin cubierta, para que una vez degradada la parte orgánica, sirva de base para posteriores capas. El principal problema de este relleno higiénico es el factor económico.

Es difícil conseguir detalles sobre molinos en libros teóricos de operaciones unitarias, pues existen muchas protecciones a las patentes de los fabricantes. Los datos de la operación, si son mencionados, solo tratan de la potencia en caballos de fuerza, del motor impulsor y en ocasiones del tamaño de partícula logrado. Pero la confianza en estos datos es raramente mencionada. Los factores económi

cos se limitan a estimar los costos de operación o de mantenimiento. Las inversiones iniciales no se discutieron en libros de estudio (McCabe, Perry, Hudson). Datos parciales suministrados por la planta de composteo de San Diego eran de \$1.50 por tonelada para los costos de operación y una suma total de costos como de \$13.00 por tonelada tratada. Otro dato disponible es el del molino marca Tollemache (muy especial en su flecha vertical que rechaza los materiales no triturables), que sólo admitió un costo de mantenimiento de \$0.40 por tonelada de desecho tratado en un molino de 150 HP y 12 toneladas diarias.

Antes de terminar este capítulo hay que mencionar que el grado de molienda final depende de los usos que se darán a la composta. El uso en la agricultura extensiva no requiere de un control estricto del tamaño del material; sin embargo para la composta que se usa en jardinería y horticultura sí se requiere de un tamaño pequeño y granulado métricamente.

CAPITULO V. - LABORATORIO Y ANALISIS DE PARAMETROS DE MANEJO.

El Laboratorio es una de las etapas de control más importantes en los procesos de tratamiento y disposición de los desechos sólidos, pues los resultados de los análisis de laboratorio sirven de base para examinar los efectos que los procedimientos de operación de la planta han tenido sobre los desechos, y sobre las medidas de protección al ambiente. Sin embargo, a pesar de la importancia que el laboratorio tiene en el control de las operaciones de los diferentes procesos, poco desarrollo se ha logrado en este campo. Varios problemas se conjuntan para impedir técnicas completamente confiables. Uno es la heterogeneidad misma de los desechos a analizar; otro es la falta de métodos normales "universales" para efectuar los análisis en el laboratorio estudiando los desechos, sus productos de proceso y la composta. Durante los años 1964-1972 un grupo internacional se reunió en varias ciudades europeas para tratar sobre la investigación en la disposición de los desechos. Las experiencias y reportes de este grupo fueron publicadas en una serie de boletines bajo el nombre de "International Research Group on Refuse Disposal Bulletin", y en ellos aparecen diferentes artículos sobre métodos de análisis.

En los Estados Unidos la investigación no se ha quedado atrás. No es raro encontrar proyectos de investigación, financiados por el gobierno federal, encaminados a algún aspecto del análisis en labora-

torio y en diseños simulados de las operaciones de disposición y tratamiento de los desechos sólidos. En las revistas científicas "Compost Science", "Refuse Removal Journal", "Solid Waste Management" y "Environmental Science and Technology", y en los reportes y libros técnicos publicados por la "Environmental Protection Agency" (EPA) y por el "Public Health Service", aparecen artículos sobre el análisis de algún parámetro o elemento en los desechos que tenga influencia sobre el sistema.

En México se han empezado a realizar estudios tendientes a unificar los criterios de análisis, reuniéndose expertos de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, del Departamento del Distrito Federal y de la empresa Guanos y Fertilizantes Mexicanos. Como resultado, el laboratorio de la planta industrializadora en San Juan de Aragón fué provista con el mejor equipo técnico y humano, para que realice investigaciones en torno a los desechos sólidos, confronte métodos y normalice los procesos de análisis para todo el país.

A continuación se examinan y reportan algunos de los métodos propuestos para el análisis de parámetros de los procesos de incineración, relleno sanitario y composteo, en este orden:

#### 5.1.- Incineración.

5.1.1. Peso Volumétrico. Es el peso que presenta un volumen conocido de desechos. El método de análisis es colocar en un recipiente de volumen conocido, la cantidad suficiente del material pa

ra ocupar por entero dicho volumen y pesar en balanza. En el reporte se destara el peso del recipiente y el resultado se reporta en kg/m<sup>3</sup>.

5.1.2. Humedad. La basura, lo más homogeneizada posible, es triturada ya sea con molino grueso o con tijeras de jardinería, a un tamaño promedio de 1 cm. y es colocada en una charola de aluminio de peso y volumen conocidos. Se extraen todas las fracciones metálicas, de vidrio o inertes y el resto se coloca hasta ocupar un volumen aproximado de tres cuartas partes de la charola; se pesa hasta gramos de exactitud y se introduce en estufa de circulación forzada. Algunos proponen aplicar calor a 60°C y otros a temperatura ambiente. La razón de aplicar calor es para medir el contenido de agua (humedad) por pérdida de peso, y alcanzar peso constante la muestra. Este parámetro es muy importante para todos los procesos, especialmente en la incineración, pues un valor elevado de humedad impide la combustión efectiva de los desechos, o hace necesario utilizar combustibles para lograr mantener una temperatura adecuada en forma continua. Se reporta en % de humedad.

5.1.3. Material Volátil. Este parámetro nos dirá qué tanto de los desechos originales serán emitidos como gases durante el proceso de incineración. Los desechos secos derivados de la prueba de humedad son molidos o pulverizados a un tamaño de partícula de 20 mm. y luego son incinerados en crisol de 900°C duran-

te dos horas. Después de retirado de la mufla, el producto se enfría en desecador y se reporta el peso; se calcula la pérdida en peso del material original y se estima su porcentaje.

5.1.4. Cenizas. Este parámetro es obtenido junto con la prueba de Material Volátil; es el remanente de incineración y nos reporta el porcentaje de los desechos que debe ser removido como rechazo y que debe ser transportado hasta un relleno sanitario.

5.1.5. Carbono. Este es el parámetro de gran controversia. Algunos sugieren una digestión con ácidos fuertes y titulan los ácidos remanentes (Jackson); otros sugieren una conversión a carbonatos mediante una oxidación enérgica con  $\text{KMnO}_4$ , posterior digestión y paso por columna de antracita. En la incineración, se prefiere considerar que los desechos están constituidos en buena parte por celulosa y se utiliza un factor de 0.48 del valor del material volátil (ver 5.1.3.)

5.1.6. Hidrógeno. A través de un factor (0.066) se extrae a partir del valor de la material volátil.

5.1.7. Azufre. Igual que los anteriores, se calcula a partir de la materia volátil y su factor es de 0.005. En todos estos cálculos sobre los elementos de los desechos dables a oxidarse (C, H, S), se estima la fórmula mínima del desecho, se balancea su reacción con oxígeno (oxígeno estequiométrico) y, considerando un exceso del 20%, se calcula la cantidad mínima necesaria para elevar la tem-



peratura de los desechos para extraer la humedad y la fracción de aire necesario para incinerar.

5.1.8. Poder Calorífico Grueso. El poder calorífico es un parámetro importante para estimar el valor del calor que desprende un desecho al ser incinerado. Este parámetro se obtiene oxidando en un calorímetro, una muestra de un gramo ante una cantidad medida de oxígeno. El recipiente está rodeado por agua en la que se instala una serie de termómetros. Al incinerar el desecho el calor que se desprende pasa al agua elevando su temperatura. Analizando la elevación de temperatura del agua y la cantidad total de oxígeno utilizado, se calcula el poder calorífico grueso y es reportado como cal/kg.

5.1.9. Poder Calorífico Neto. Al parámetro de poder calorífico grueso debe multiplicarse por un factor de merma debido a la humedad, que varía entre 0.90 para altos contenidos de humedad y 0.93 para valores bajos de humedad.

## 5.2. - Relleno Sanitario.

En un relleno sanitario el laboratorio no es una etapa importante en las operaciones, pero sí lo es para evaluar las medidas de protección ambiental evaluando los líquidos y gases emanados del relleno. Para este fin se colocan pozos aguas arriba y aguas abajo -- hasta el manto acuífero y se analizan los contenidos químicos y biológicos de las aguas. Para el gas, se colocan pozos de grava, du-

rante las construcciones de las celdas, para ventilar el gas; siendos recogidos y muestreados en un analizador de gases. Otros fenómenos también presentes en un relleno, como son los asentamientos y tipos de suelos usados para confinar los desechos, pueden ser evaluados.

5.2.1. Estudio del Agua. Los parámetros que se investigan para un agua contaminada debido a un escurrimiento o una falla del terreno hasta las aguas subterráneas, son: flujo, sólidos se dimentables, sólidos suspendidos, dureza, pH, cloruros, aniones y cationes totales. En el análisis biológico se examina su contenido en coliformes fecales. Para los métodos de análisis de estos parámetros se recomienda acudir a los Métodos Standard publicados por la APWA.

5.2.2. Estudio del Gas. El estudio del gas de descomposición nos puede indicar la "edad" del relleno, pues en las etapas iniciales los contenidos en  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  son de 3:1; en las etapas intermedias son 1:5; y en las etapas finales de estabilización son de 1:2.5. El  $\text{CO}_2$  es muestreado y analizado en aparato de Orsat. El metano y otros hidrocarburos son analizados en cromatógrafo de gases o en analizador específico de hidrocarburos.

5.2.3. Suelos. El análisis de los suelos se puede realizar por varios caminos, pero se puede examinar someramente pensando solo en las necesidades de operación del relleno por la técnica de sedimentación y, por medio de la tabla preparada por la Unified Soil Classification System, observar su contenido en arcillas, limo,

granito, etc. Este análisis del suelo es necesario para saber el tipo del material que está siendo colocado en las capas de cubierta y, dependiendo de los resultados, conocer las ventajas, desventajas y medidas de protección necesarios para evitar problemas futuros.

5.2.4. Asentamientos. Por medio de un equipo topográfico y de un registro de los asentamientos presentados, se puede llegar a conocer el grado de estabilización de un relleno y disponer de medidas de mantenimiento para cubrir los huecos generados.

### 5.3.- Composteo.

Los parámetros para evaluar la madurez de una composta han merecido varios reportes técnicos que ya fueron enumerados en el capítulo segundo. Otros parámetros deben ser analizados tanto de la composta como de los desechos en la alimentación.

5.3.1. Contenido en Componentes. Una basura se dice ser muy "rica" cuando sus componentes tienen altos valores en aquellos materiales que logran altos precios de compra en el mercado. Así, los materiales de valor comercial y los de ningún valor son clasificados y reportados en porcentajes. Una muestra de 200 kg. es homogeneizada, cuarteada, vuelta a homogeneizar, cuarteada nuevamente y una sección de 50 kg. aproximadamente, es separada en papel, cartón, lata, vidrio, plástico, hueso, hule, madera, trapo y algodón, cuero, material orgánico y suelo fino. Se reporta el total de muestra y el porcentaje de cada componente.

5.3.2. **Peso Volumétrico.** Peso que tendrá un volumen unitario.

5.3.3. **Humedad.** Ya enunciado su método de análisis, en los procesos de composteo nos indica la cantidad de agua que se requiere agregar o extraer para lograr humedad óptima.

5.3.4. **Acidez.** El impacto que una composta puede tener sobre un suelo debe medirse a través de su acidez. Un gramo de composta se coloca en 100 ml. de agua y luego de 30 minutos se introducen los electrodos de un potenciómetro y se reporta su acidez.

5.3.5. **Carbono.** Ya enunciado en 5.1.5. de este mismo capítulo.

5.3.6. **Nitrógeno.** Una muestra de un gramo es digerida con  $\text{KMnO}_4$  y luego recogida sobre ácido bórico. Se titula el ácido bórico remanente y se estima la cantidad de permanganato gastado en oxidar el nitrógeno en su forma amoniacal y de nitrito. Esto es siguiendo la técnica de digestión de Kjeldahl y, aunque se han propuesto otras técnicas, es el método aplicado en México para evaluar nitrógeno en los desechos y en la composta. El nitrógeno, junto con el carbono, nos dice el grado de madurez de una composta, su posible efecto sobre el suelo y su calidad.

5.3.7. **Temperatura.** Factor importante para determinar los procesos de digestión llevados a cabo. Se determina por medio de un termómetro de lanza con carátula, metálico, el cual se -

introduce en el material en digestión y se efectúa la lectura directamente.

#### 5.4. Conclusiones.

No hemos querido elaborar un manual de laboratorio ni decir la última palabra en lo relativo al análisis de los desechos; eso lo dejamos abierto a otros interesados en ello. Pero sí recalcaremos la necesidad de aumentar las investigaciones en todos los campos en torno a los desechos sólidos, su manejo, tratamiento y disposición.

CAPITULO VI. ASPECTOS ECONOMICOS EN LOS PROCESOS DE DISPOSICION FINAL.

Los aspectos económicos relacionados con el tratamiento de los desechos sólidos y su disposición final, se encuentran ante dos caminos irreconciliables entre sí, por lo menos con la tecnología actual. Por un lado, los sistemas de manejo de residuos sólidos son muy costosos y, de acuerdo con datos disponibles en los Estados Unidos, representan el tercer gasto del erario público, después de la educación y de la defensa nacional. En México es difícil reunir los costos respectivos a los sistemas, pues generalmente los municipios no tienen un buen sistema administrativo y en muchas ocasiones se confunden con otros servicios públicos. Aún así, se tienen a la mano técnicas para evaluar el sistema en sus diferentes aspectos y podemos enfocar nuestra atención sobre la disposición final. Por otro lado, se tiene la idea de que los servicios deberían ser un "negocio" de donde se podrían obtener beneficios económicos. Empecemos a analizar, desde un punto de vista económico, los diversos procesos de disposición. Tratamientos enunciados.

6.1. Composteo.


En muchos países, especialmente en los Estados Unidos, las plantas de composteo han sido fracasos rotundos. La razón es que se ha pretendido considerar este tipo de tratamiento de los desechos como un tesoro escondido en la basura y siempre al alcance de la ma-

no de cualquiera que lo desee. Para considerar la posible utilidad de las plantas de composteo, se tienen que balancear los beneficios contra los costos de inversión inicial y de operación. Es muy frecuente que los costos sean mayores que los ingresos por ventas y pronto el déficit hace imposible seguir operando la planta. Esta es una política injusta, ya que el composteo es el único proceso de disposición final al que se le exige rendir un beneficio económico, sin ver que es sólo una forma de eliminación segura y sanitaria de los desechos sólidos.

En los últimos 20 años, la tecnología sobre composteo de desechos sólidos urbanos ha sido investigada, y ya existen conocimientos y equipos que capacitan a los ingenieros a diseñar plantas mecánicas de composteo y a producir composta. Aunque la información correspondiente a los costos no es muy satisfactoria, es evidente que el proceso de composteo no sería un método tan costoso si las plantas en operación tuvieran un buen sistema de contabilidad y mantenimiento. Los costos que se encuentran en la literatura varían desde 20 hasta 250 pesos por tonelada de desechos tratados. Estos datos son en función de cada planta individual, con distintos tamaños, métodos de operación, número de turnos, sistemas de contabilidad, detalles de financiamiento, costos de terreno, maquinaria, mercados para subproductos y composta, recursos energéticos, etc. etc.

#### 6.2. El Relleno Sanitario.

Este método es el único para una disposición sanitaria de los



deechos sólidos y los rechazos de los demás métodos de tratamiento. Sus factores económicos se basan en el tamaño de operación, el acceso al suelo adecuado para las cubiertas, las medidas de protección al ambiente, etc. Es el método más económico, pero las dificultades que empiezan a surgir al tratar de obtener terrenos adecuados cerca del area urbana, pueden hacer más económicas otras técnicas de tratamiento, transportando solamente los rechazos de las mismas hasta el relleno.

#### 6.3.- Incineración.

Este método de tratamiento tiene la desventaja de mucho de las características de los desechos, además de los costos de inversión, operación, disposición de rechazos, etc.

#### 6.4.- Factores Económicos.

Todos los métodos de disposición y tratamiento tienen en común ciertos factores económicos que pueden resumirse de la siguiente manera:

6.4.1. Selección del Sitio de Instalación. Este es un capítulo importante pues debe estar en armonía con las demás fases del sistema de manejo de los desechos sólidos. La cercanía o lejanía de la planta respecto de los centros de generación, tienen influencia sobre los costos de transporte, elevando o reduciendo los costos finales del manejo. El sitio ideal debe estar cercano a las fuentes de generación de desechos, a los servicios de carreteras y caminos,



a los servicios de energía eléctrica y de agua, a los de protección contra incendios; a la vez, debe estar alejado de las áreas residenciales para no provocar problemas de olores, moscas, tráfico intensificado, ruido, vectores biológicos, etc. Es obvio que ningún sitio puede reunir todas estas características, pero la selección del sitio de instalación debe tener en cuenta estos puntos y balancear y ajustar sus sistemas a dicha selección.

6.4.2. Requisitos Operacionales. Estos requisitos pueden subdividirse dependiendo de las operaciones efectuadas; así, podemos enumerar:

1) Recibo, Transporte y Almacenamiento.

En toda instalación debe existir un control de los desechos recibidos y, al realizar los costos totales de la planta o sitio de disposición, obtener los costos unitarios por tonelada tratada o dispuesta. Además, en la caseta de control se realiza un pesaje de los desechos recibidos, horario de descarga, dirección del tráfico interno y, en su caso, hasta se podrían imponer tarifas a particulares por disponer de sus desechos voluminosos: refrigeradores, mobiliario, etc. En el almacenamiento deben preverse posibles suspensiones en la operación por avería del equipo, y deben diseñarse áreas de emergencia para recepción de los desechos que luego serán enviados a la línea normal de proceso, tan pronto quede arreglada la avería. En las plantas de composta e incineradores, deben diseñarse -

tolvas de recepción con capacidad mínima igual a la capacidad total - máxima diaria del servicio de recolección que descargue a la instala ción. En los rellenos sanitarios debe disponerse de un área de emer gencia con idénticas funciones y parámetros para diseño. Todo esto - influye sobre el resto del sistema al proporcionar una continuidad en la operación, aún en períodos de averías y de mantenimiento.

## 2) Tratamiento.

Este parámetro varía con la escala de operación, maqui naria en operación, procesos para remover rechazos y subproductos, accesorios de control de motores, etc. En los rellenos sanitarios - son los tractores los que realizan el confinamiento y los que trans portan los suelos sobre los que se basan estos cálculos; en las plan tas de tratamiento (composteo, incineración, pirólisis, etc.) la ma-- quinaria misma.

## 3) Mantenimiento.

Existen partes mecánicas y eléctricas que sufren desg<sup>as</sup> te en su continuo contacto con los desechos o con otras partes de la maquinaria y que deben ser vigiladas, reacomodadas o reemplazadas para poder continuar las operaciones del proceso. Es muy común re- emplazar los martillos de un molino luego de 10 horas de servicio. Debe programarse un plan de mantenimiento cubriendo periódicamente las partes en contacto para poder aprovechar al máximo la vida útil

de la maquinaria. El programa de mantenimiento influye considerablemente sobre los costos de operación y de ahí su importancia.

4). Acondicionamiento de terreno.

Esto es de capital importancia antes y después de operar un relleno sanitario, previendo las operaciones a efectuar y el uso futuro del sitio, una vez finalizadas las operaciones del relleno.

5) Disposición de Rechazos.

Los rechazos no deben ingresar en la línea normal de proceso; deben salir del sitio y ser transportadas hasta su disposición final.

6.4.3. Inversión Final. Debe cubrirse una cantidad fija para la adquisición y erección de plantas fundamentales del proceso. Debe destinarse dinero para la adquisición de terreno, obra civil, maquinaria, equipo móvil, herramientas y otros. Estos costos de capital o de inversión inicial tiene una depreciación o amortización durante una vida útil, al final de la cual se recupera el monto inicial del capital invertido. Esta depreciación está en función del capital invertido inicialmente y la vida útil de la unidad. Así, por ejemplo: la obra civil tiene una vida útil de 20 años o un interés de 5% anual; el equipo móvil es de 5 años de vida útil y un 20% de interés; la maquinaria tiene vida útil de 10 años y un interés de 10% anual; y las herramientas tienen una vida útil de 5 años y un 20% de interés.

6.4.4. Gastos de Operación. Estos gastos son variables y pueden resumirse en:

- Mano de Obra,
- Prestaciones laborales (30% de los salarios de la mano de obra)
- Servicios de Agua y Teléfono
- Servicios de Electricidad
- Combustibles, aceites, llantas y refacciones para la maquinaria, equipo móvil, accesorios
- Imprevistos (5% de los gastos totales de operación).

Los gastos de operación en mano de obra dependen de la categoría de los operarios, los sueldos locales base y mínimo, y de los incentivos dados por la administración para mejorar la operación y cumplir con las fases del proyecto.

6.4.5. Venta de Subproductos, Composta y Vapor. En las plantas de tratamiento de desechos sólidos (composteo, incineración, pirólisis) se pueden obtener beneficios y utilidades por venta de los subproductos, de la composta o del vapor producto del intercambio de calor con las cámaras de combustión en incineradores o plantas de pirólisis. Este beneficio puede reducir los costos totales de manejo de los desechos sólidos y, en algunos casos especiales, hasta producir rentabilidad al proyecto de tratamiento y disposición. No debe caerse en la opinión común, sin embargo, de que los proyec

tos de manejo, tratamiento y disposición de desechos sólidos deban -  
rendir utilidades siempre. Un proyecto debe basarse únicamente en  
el aspecto sanitario y como un servicio a la comunidad que puede ser  
tarificado para llevarlo a su realización. Si por circunstancias tempo-  
rales o locales, el proyecto resulta rentable, esto será ocasional y  
no fácil de reproducir para cualquier otro proyecto.

6,4.6. Uso del Relleno Terminado. El relleno sanita-  
rio puede producir algunos beneficios al ser utilizado, una vez finali-  
zadas las operaciones de trabajo, como patio de recreo, campos de  
portivos, campos de golf, parques de estacionamiento, áreas verdes  
o zona de cultivo. Para ser económica la utilización del relleno ya  
terminado, es requisito que esté localizado cerca de las zonas resi-  
denciales y que el valor del terreno tenga superavit al aumentar la  
plus-valía de la vecindad. No tiene caso construir áreas de recrea-  
ción y campos deportivos demasiado alejados de la ciudad.

#### 6.5. - Protección al Medio Ambiente.

Este aspecto económico es el más subjetivo y el más dilemá-  
tico de todos. ¿Puede alguien decir cuánto se beneficia una ciudad,  
y las personas que en ella habitan, si se destinan 500 millones de -  
pesos a la recuperación de un lago disecado mediante la aplicación -  
de material orgánico, producto del tratamiento de los desechos sól-  
dos generados por la misma población? Así, en los incineradores -  
deben colocarse sistemas de control de gases (lavadores ciclónicos,

por ejemplo), y de partículas (precipitadores electrostáticos, por ejemplo). En los rellenos sanitarios, a dos metros por lo menos de los mantos acuíferos, deben colocarse pozos de monitoreo antes y después del relleno; y colocar una capa de un metro de espesor de arcilla, para evitar que los líquidos percolados lleguen hasta las aguas subterráneas. Esto además de colocar bordes para desviar el agua superficial, colocar el material de cubierta con pendientes que eviten el estancamiento del agua de lluvia y colocar "pozos de grava" para ventilar los gases de descomposición. En el proceso de composteo, el patio de fermentación debe ser inclinado para que los líquidos escurran hasta un desagüe (dren) y no originen problemas de moscas; la humedad y temperatura durante la fermentación deben ser los adecuados para favorecer la digestión aeróbica y termofílica y lograr la destrucción de patógenos, larvas de insectos y esporas; y la colocación de bordes y barreras de árboles que eviten que los vientos acarreen olores y papeles sueltos hasta la población residente en la vecindad, e impedir que las moscas del exterior penetren atraídas por los desechos sólidos. Todos estos procedimientos para evitar las amenazas al medio ambiente pesan sobre los costos de inversión inicial y, en la mayoría de los casos, no exceden el 15% del total de la inversión inicial.

## CAPITULO VII. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

Hasta aquí sólo se han discutido problemas generales de ingeniería. La mayoría de las operaciones y procesos unitarios utilizados en la disposición final de desechos sólidos se realizan sobre la base de "prueba y corrige" en el diseño, construcción y operación; aunque se tengan conocimientos sobre los procesos, casi nunca se han originado en el manejo apropiado de los desechos. Por ejemplo las bandas que se usan son las utilizadas en el manejo de carbón y óxidos minerales; las grúas de almeja son las mismas que se usan para el transporte de los desechos y en las operaciones de dragado. Todas las operaciones varían de acuerdo a los problemas, y los problemas cambian frente a la miriada de parámetros. No hay dos técnicas igualmente adecuadas, pero es razonable esperar que, con la reunión de los diferentes técnicos y con las experiencias actuales en operación, bajo muy diversas condiciones de proceso, se lleguen a resumir y a poder estimarse las condiciones óptimas para la disposición de los desechos sólidos. De esta manera se podrían desarrollar programas de innovaciones, equipos, construcciones e ingeniería todo lo que redundaría en una mayor rutina y menor costo para el manejo, operación y disposición de los sistemas. Esto no quiere decir que se rebajarán los costos de proceso sino que se reducirán aquellos debidos a conocimientos incompletos y equipos improvisados e inadecuados.

Las recomendaciones que podemos hacer son las siguientes:

7.1) Que se realicen estudios mecánico-eléctricos para la optimización y diseño de maquinaria y equipo específico para el manejo y tratamiento de desechos sólidos. Esto redundará en un mejor funcionamiento de las partes mecánicas usadas en los procesos de disposición y manejo, evitando los problemas de las improvisaciones.

7.2) Que se realicen investigaciones en torno a los desechos sólidos industriales. Los posibles caminos para que estos desechos sólidos fueran manejados, serían: relleno sanitario especial; circulación en la propia planta que los origina; incineración (con control de humos y polvos); su integración dentro del proceso de composta siempre y cuando no recarguen el proceso normal con metales pesados, tóxicos o bacteriológicos. Es preciso hacer notar que los desechos sólidos industriales solo se refieren a aquellos materiales de rechazo de los procesos usuales en la industria. Esta investigación no es tan difícil, pues la homogeneidad de este tipo de desechos le permite integrarse a cualquier etapa mejorada o desviarse a productos de menor calidad.

7.3) Incrementar las prácticas de composteo, ya no como una operación de "rentabilidad económica", sino como una doctrina de devolver al suelo lo que se le extrajo en los cultivos.

7.4) Incrementar las prácticas de recuperación de subproductos. Esto se podría lograr de varias maneras; adiestramiento de personal



adecuado; mejoramiento de los separadores mecánicos y clasificadores. Pero lo más importante sería "crear conciencia" en los industriales - para recircular un porcentaje mayor del material recuperado junto a su alimentación de materia virgen. De esta manera se protegerían - las reservas de materias primas, con una reducción en la explota-- ción, actualmente tan irracional, de la naturaleza.

7.5) Que se extienda el proceso de composteo a los desechos - de fábricas de alimentos (cáscaras, frutas podridas, rechazos, etc.) e investigar su posible efecto sobre el suelo y los cultivos.

7.6) Extender las investigaciones sobre la aplicación de lodos del tratamiento de aguas industriales en los procesos de composteo de desechos sólidos urbanos.

7.7) Investigar las condiciones óptimas en que un material com-- posteado puede mejorar un suelo erosionado y, en caso de obtenerse resultados positivos, que las distintas Secretarías de Gobierno y es-- tatales tomaran a su cargo el transporte y aplicación de este mate-- rial en suelos raquíuticos en materia orgánica, ayudando de esta mane-- ra al campo.

7.8) Investigar y optimizar las condiciones actuales en las -- prácticas de composteo para una eliminación efectiva de patógenos, hongos y esporas de malezas, moscas, insectos y olores.

7.9) Mejorar las condiciones de trabajo de los operadores del servicio de recolección y de los seleccionadores en las plantas de -

composta. Aunque ésta no es una operación de ingeniería, el mejoramiento en el ambiente laboral de los trabajadores se verá reflejado en una obvia mejora del sistema de manejo de los desechos sólidos.

7.10) Apoyar los procesos actualmente en experimentación con investigaciones más profundas y en condiciones reales sobre nuevos métodos de disposición y tratamiento de desechos sólidos. La hidrólisis, la combustión con gases calientes sin oxidantes, la extracción con solventes orgánicos, la pirólisis, la carbonización, la oxidación química, la compactación a bloques con fines arquitectónicos, etc. Con este objetivo en mente, sería recomendable convocar a toda la rama de la ingeniería para que superen su desinterés en este problema actual, surgido como efecto indeseable de la concentración de población en las grandes urbes.

7.11) Aumentar los estudios sobre la composición química, física, mecánica y biológica de todo tipo de desechos sólidos.

7.12) Prohibir aquellos productos de poca utilidad como empaque, o imponer impuestos a aquellos de difícil descomposición y disposición y, de esta manera, sufragar el costo de su tratamiento y manejo especial.

7.13) Revisar las leyes de limpia en vigor, que datan del año 1938, y ajustarse a la realidad y a las perspectivas sobre una disposición más eficiente y sanitaria.

7.14) Elaborar normas a seguir en el análisis de los desechos

sólidos, a semejanza de los métodos "standard" en el análisis de aguas residuales.

7. 15) Incluir los estudios sobre desechos sólidos en los programas educativos de Ingeniería Ambiental como materia obligatoria, con clases teóricas y prácticas de laboratorio.

7. 16) Avocar a las varias ramas de ingeniería a que colaboren a profundizar en los aspectos de investigación de operaciones, investigación de procesos, geohidrología, química, forestación, planeación, optimización, etc. en este campo fértil a los estudios. Por ejemplo, se han tratado de aplicar algoritmos de investigación de operaciones en la selección de sitios de disposición y en el rediseño de rutas de recolección y aún no es posible llegar a algo definitivo.

7. 17) Ampliar los estudios costo-beneficio de la posible contaminación que tienen los desechos sólidos sobre el medio ambiente.

CAPITULO VIII. - SENTIDO PRACTICO DE LOS PROCESOS  
Y FUTURO DE LA DISPOSICION.

FINAL.

Actualmente la disposición de la basura y los demás desechos sólidos parece ser muy simple: los residentes urbanos meramente colocan sus desechos domésticos en bolsas o recipientes y los arrojan a los servicios públicos o privados de recolección. Sólo aquellos que han pasado por un tiradero a cielo abierto o por un relleno sanitario o una planta de composta pueden imaginarse levemente lo que es el problema de los desechos sólidos y su disposición. Todavía no existe la varita mágica para eliminar sin residuo ni problema de contaminación ambiental, aquello que ya nadie desea o que ya ha dejado de tener uso en la comunidad.

El problema se agrava cada día más y en muchos sentidos. Se estima que anualmente aparecen en el mercado no menos de 50,000 productos nuevos, y dependiendo de su uso y vida útil, tarde o temprano irán a parar a los sistemas de manejo de los desechos. Además, cada día se "consume" más basura, pues en nuestra sociedad de compra-consumo-desecho, los productos tienen cada día menos vida útil y más pronto se convierten en desechos. Y una sociedad en desarrollo compra, consume y desecha cada día más. Así, por ejemplo, en los Estados Unidos cada habitante "produce" cada día 2.5 kg. de basura; un habitante europeo produce 1.75 kg., un

habitante de Tijuana, Baja California 0.8 kg.; un capitalino 0.40 kg. y no hay un solo kilogramo idéntico; todo el material es completamente heterogéneo.

Este es solo uno de los muchos problemas de los desechos sólidos. El problema se agrava aún más si se consideran los actuales sistemas de disposición y tratamiento final. En un país industrializado como Estados se reporta que la distribución de los desechos sólidos es como sigue: 77% son tiraderos sin control (L. Hodges. "Environmental Pollution", Holt, Renihardt & Winston, Inc. 1973); 13% son rellenos sanitarios; 8% incineradores municipales y un 2% de otros métodos (composteo, alimento de cerdos, reciclaje, arrojado al océano, etc.) Aunque en México no se han hecho investigaciones sobre nuestros métodos de disposición, no sería difícil hacer ciertas suposiciones al respecto.

Se considera que toda población con más de 20,000 habitantes debería tener un sistema de manejo de sus desechos. En México, de acuerdo al censo de 1970, existen 260 poblaciones de 20,000 habitantes o más; 64 poblaciones de 100,000 habitantes o más, y 8 con más de 500,000. Según datos de fuentes oficiales, en la República Mexicana existen 5 rellenos sanitarios, 3 plantas de composta y 2 más por instalar en el presente año de 1975, y el resto son tiraderos sin control alguno. O sea que de 260 poblaciones sólo 10 tienen sistemas adecuados de disposición y tratamiento (el 3.84%); desgraciada

mente, estos sitios de disposición solo cubren una parte del total de los desechos. Las plantas de Monterrey, Guadalajara y México (todas con capacidad instalada de 500 ton / día), solo cubren el 70%, el 66% y el 8.3% respectivamente de su total de desechos.

Veamos el caso de la Ciudad de México. La Ciudad de México cuenta con una población de 8 millones de habitantes. La ciudad está dividido para fines de aseo, en 23 sectores de limpia repartidos entre 16 delegaciones políticas. Diariamente se recogen 6,000 toneladas de desechos que tienen como destino: 500 toneladas a la planta de composta de San Juan de Aragón; 1,000 toneladas al tiradero de Santa Fé y las 4,500 restantes hacia el tiradero de Santa Cruz Meyehualco. Para darle cabida a las 4,500 toneladas que antes se enviaban a esos tiraderos se debe buscar una solución adecuada, tanto sanitaria como económicamente.

Examinemos el sentido práctico de cada método de disposición final o de tratamiento, para posteriormente compararlos entre sí.

**Tiradero sin control:** Es el método más usado pero a su vez es el que más problemas ocasiona a la ciudad y al ambiente: se causan problemas a la salud pública al estimular el crecimiento de moscas (que pueden transmitir fiebre tifoidea, cólera, disentería, tuberculosis, antrax y otras enfermedades), cucarachas, mosquitos (que transmiten la malaria, fiebre amarilla, encefalitis de origen mos-

quito y la filiarisis) (Hanks, T.G. "Solid Waste/Disease Relationship" A Literature Survey V.S. Department of Health, Education and Welfare. 1967. Public Health Service Publications, No. 999-VIH-6).

Los problemas de contaminación al aire surgen al ser quemados los desechos para reducirlos en volumen o conservar espacio o cuando suceden combustiones espontáneas. Cuando los materiales ferrosos contenían regulares niveles en concentración de estaño, se solía prender fuego a los materiales ferrosos y recuperar el estaño. Actualmente, estas concentraciones son a nivel trazas y es difícil de observar esta práctica, reduciéndose en lo que cabe, una fuente de contaminación de aire. Existen casos como el del aeropuerto de Veracruz donde se han suspendido vuelos comerciales por ser peligroso el aterrizaje en el aeropuerto demasiado cercano al tiradero local.

El relleno sanitario es la disposición de los desechos compactados por el peso de un tractor y cubiertos al terminar el día de trabajo con un material protector, usualmente arcilla. Sus ventajas sobre un tiradero a cielo abierto son: 1) Los problemas a la salud pública son minimizados al impedir el albergue a moscas, ratas y otros vectores biológicos dentro de los desechos; 2) No existe daño al aire al no existir ni fuego ni polvos, y 3) los peligros por incendio son muy pequeños. Existe, sí, el peligro de amenazar el agua subterránea y superficial, pero si el sitio está bien protegida y seleccionado correctamente, se elimina tal problema.

Dentro del relleno, pueden suceder reacciones aeróbicas en la medida en que se halle oxígeno presente y al agotarse éste, las reacciones anaeróbicas (con la producción de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ ), ambas por reacciones bacterianas. La temperatura puede ascender hasta  $70^\circ\text{C}$  en pocos días por efecto de la producción de calor. Las cantidades de aire y agua presentes influyen en la velocidad de descomposición; con los rellenos húmedos algunos mostraron una descomposición casi completa de la materia orgánica en pocos años, mientras que en los rellenos secos, esta descomposición podría durar décadas. La producción de gas también puede ser peligrosa. En los años sesenta, en Chicago, el gas metano producido por un relleno de 20 años de edad, que normalmente se ventilaba hacia la atmósfera, fué atrapado por varios pies de nieve forzándolo a entrar a una línea de alcantarillado donde causó una explosión. En ocasiones un relleno sanitario puede conseguir elevar el valor de los terrenos cercanos al sitio. El condado de San Diego ha convertido pantanos, minas abandonadas, canteras vacías y cañones, en parques, zonas de juego, áreas de estacionamiento, aeropuertos y otros tipos de facilidades. Pero pueden surgir problemas por el control de los gases, su ventilación y los asentamientos posibles. Una ley empírica explica que la cantidad de terreno necesario para disponer desechos sólidos es de 1 acre (0.4 hectárea) por año para cada 10,000 habitantes (generación: 2 kg./día), asumiendo que la celda es rellena



hasta 3 m. El problema es conseguir terreno para estos fines, lo suficientemente cerca de la urbe y que no aumente demasiado los costos de transporte de los vehículos recolectores. Pero empiezan a crearse problemas por falta de sitios adecuados y los terratenientes y conservadores han influido en contra de este método de disposición.

**Incineración.** Aunque en México no existen incineradores para desechos sólidos urbanos, en los E.U.A. y Europa existen cientos de plantas operando, tratando casi la mitad de desechos urbanos; además de incineradores domésticos. La incineración real involucra el quemar los desechos a muy elevadas temperaturas (900 - 1,000°C), dejar cenizas, vidrio, metales y otros materiales incomburentes, con un monto aproximado de un cuarto del peso original, que deben ser dispuestos en un relleno sanitario. La contaminación atmosférica es a menudo un problema sobre todo por los incineradores domésticos sobre los que casi no existe control de sus emisiones. Aunque todavía faltan muchas mejoras, la tecnología sobre incineradores se ha desarrollado bastante en cuestión de control de sus emisiones, pero aún no es bastante, sobre todo en unidades de pequeña escala.

**Composteo.** Práctica muy común en Europa pero que no ha tenido el éxito esperado en Estados Unidos. En América Latina, México tiene instaladas 3 plantas de 500 ton/día, cada una y se instalarán en el bienio 75-76 otras dos, aunque de menor capacidad. Este proceso ha sido comentado detalladamente en este estudio y cual-

quier aspecto del mismo puede consultarse en capítulos anteriores.

Al comparar los costos entre los varios procesos, surgen varios problemas en la estimación. Los tiraderos a cielo abierto pueden ser los responsables de enfermedades en la zona de influencia, así como los incineradores añaden costos en control de contaminación atmosférica en sus emisiones. La basura arrojada en las laderas de las carreteras constituye un problema, sobre todo estético, aunque es pequeño en comparación con el total, no deja de tener sus efectos en la economía. Los principales gastos en los sistemas actuales de manejo de desechos sólidos son: la recolección, transbordo y transporte de los mismos y no por su disposición o tratamiento (80% en recolección y transporte y 20% en la disposición final), lo que demuestra interés en las investigaciones en pro de la recolección y muy escasa en torno a la disposición.

En una encuesta realizada en los Estados Unidos resumieron los costos:

0.11 a 0.28 Dls.	por ton.	en tiradero a cielo abierto,
0.77 a 1.65	" " "	en rellenos sanitarios, y
3.30 a 6.60	" " "	en incineradores y composteo.

Estos datos estarán sujetos a modificación en la medida de los cambios y mejoras en la tecnología ocurran, y mientras los costos de incineración y composteo se reducirán, por otra parte aumentarán los costos de los rellenos sanitarios a medida que el valor de

los terrenos suba.

Aún así, es importante no perder de vista dos puntos de vital importancia:

a) A medida que los recursos naturales sean más necesarios como fuentes de materias primas y energías, los sistemas de recuperación de materiales serán más importantes, dándose un giro necesario hacia la separación mecánica y los procesos de composteo, pirólisis, recuperación de materiales químicos orgánicos por reacciones químicas y otras mejoras e innovaciones tecnológicas en el futuro.

b) La necesidad de los cultivos extensivos para las poblaciones cada día más en aumento y las necesidades de alimentos. Esto requiere que el suelo no sufra mermas por esta necesidad de alimento, pudiéndose proteger con la aplicación de fertilizantes orgánicos partir de los desechos sólidos urbanos tratados en procesos de composteo.

Como en todo problema de contaminación, existen tres formas de control según su ciclo de movimiento: origen, recolección del medio y disposición final. Mucha investigación se ha hecho en la recolección de los desechos sólidos y los avances en los otros dos aspectos son confusos.

Se han visto y comentado los sistemas de disposición final. Se han sugerido varias formas para atacar desde su origen a los desechos sólidos. Marcuse definió a la sociedad moderna como de consumo

sumo y es en los lugares donde se hacen los consumos de bienes -- donde se generan los desechos. Así, la publicidad y la industria -- han creado la "comodidad" de los envases desechables, tanto de vidrio, metal, papel o plástico, y cada día son más los productos en el bote de la basura. Algunos legisladores han propuesto que se imponga la producción de dichos empaques y otros, más realistas sobre la sociedad actual, han sugerido la creación de impuestos tanto al fabricante como al consumidor; impuestos que irían al erario público destinados a la recolección y disposición de esos y demás desechos sólidos. A partir de 1970, el estado de Oregon, en los Estados Unidos, ha seguido esta política de impuesto-prohibición, y se espera conocer los resultados de esta política cuando las agencias federales norteamericanas esbozen las ventajas y desventajas de estas leyes.

BIBLIOGRAFIA

## LIBROS:

- L. Hodges "Environmental Pollution"  
Holt Rinehardt & Winston. Dallas. 1973.
- W. G. Hudson. "Conveyors and Related Equipment"  
John Wiley & Sons. New York. 1954.
- W. L. McLabe "Unit Operations of Chemical Engineering"  
J. C. Smith Mc Graw-Hill Book Co. 1967.
- R. F. Perry "Chemical Engineers' Handbook" 4th. Edition  
C. H. Chilton Mc Graw-Hill Book Co. 1963.  
S. D. Kirkpatrick
- R. E. McKinney "Microbiology for Sanitary Engineers"  
Mc Graw-Hill Book Co. 1968.
- Universidad "Reclamation of Municipal Refuse by Composting"  
de Sanitary Engineering Research Project.  
California Berkeley, California. June 1953.  
Tech. Bulletin No. 9. Serie 37.
- D. J. Horvath "Proposal to the National Science Foundation"  
West Virginia University  
Morgantown, W. Virginia. E.U.A. 1971.
- A P W A "Municipal Refuse Disposal"  
Public Administration Service  
Chicago, Ill. 1970.
- Goulecke, C. "Composting"  
Organic Gardening Co. Los Angeles. 1972.
- H. Gotaas. "Composting"  
WHO. Monogram series 31. 1952.
- A.W.Breidenbach "Composting of Municipal Solid Wastes in  
the United States" (SW-47r)  
U. S. Environmental Protection Agency. 1971

"Standard Methods for the Examination  
of Water and Waste Waters"  
13th Edition. 1972.

J. Jackson "Soil Analysis"  
John Wiley & Sons. 1962.

R. G. Ridker "Economic Costs of Air Pollution"  
F. A. Praeger, Publisher  
New York. 1967.

### REVISTAS.

#### Environmental Science & Technology:

"Solid Wastes", March 1, 1967.

"Solid Wastes, Disposal, Utilization and  
Legislation", May 4, 1970.

"Tactics, Strategy: The Solid Waste Battle",  
October 3, 1969.

"Throwaway Packages - A Mixed Blessing",  
April 3, 1969.

"An abandoned Strip Mine is to Fill",  
June 2, 1968.

"Sewage Sludge & Refuse Composting Test  
Begins", August 2, 1968.

"Plastic Wastes Yield to Pyrolysis",  
June 4, 1970.

"Fluid Bed Incinerators Studied for Solid  
Waste Disposal", July 2, 1968.

"Solid Waste Recovery Systems for all  
Municipalities", February 1971.

"Reclaiming Solid Wastes to Electricity",  
September 4, 1970.

"Waste Recycling Really Works",  
October 4, 1970.

"Converting Solid Wastes to Electricity",  
August 4, 1970.

"Pyrolysis of Refuse Gains Ground",  
5, 4, p. 310.

"Solid Wastes, Resources Out of Place",  
7, p. 594.

IRGRD Bulletins: (International Research Group on Refuse Disposal)

- "Necessity for Standard Methods of Analysis and Evaluation of Refuse Compost",  
Bull. No. 1, 1956.
- "Making Compost from Sludge and Refuse"  
Bull. No. 2, 1956.
- "Destruction of Pathogen and Troublesome Odors in Composting",  
Bull. No. 3, 1957.
- "On the Content and Values of Trace Elements in Urban Refuse Compost",  
Bull. No. 6, 1959.
- "Comments on the Construction of Grinders for Urban Refuse",  
Bull. No. 6, 1959.
- "Special Technical Problems in the Processing of Urban Refuse",  
Bull. No. 7, 1959.
- "Biological Processes in the Composting of Refuse",  
Bull. No. 7, 1959.
- "Composting from the Hygienic Viewpoint",  
Bull. No. 7, 1959.
- "Humus and Root Activities",  
Bull. No. 7, 1959.
- "Long Term Effects of Urban Refuse Compost",  
Bull. No. 7, 1959.
- "Structural Analyses of Compost Piles",  
Bull. No. 8, 1960.
- "Boron and Manganese Contents of Refuse and Refuse-Sludge Compost",  
Bull. No. 8, 1960.
- "Erosion Prevention with Compost in Vini-culture",  
Bull. No. 8, 1960.
- "Simple Control Tests Which Can Be Made by Compost Plant Operator"  
Bull. No. 9, 1960.
- "Studies of the Effect of Windrow Heights on Composting Rate"  
Bull. No. 11, 1961.
- "Organization of Refuse Disposal"  
Bull. No. 21, 1964.

IRCRD Bulletins: (cont.)

- "Problems of Refuse Disposal",  
Bull. No. 23, 1965.
- "Composting Developments in the United States",  
Bull. No. 25, 1965.
- "Effects of Boron in Refuse Compost",  
Bull. No. 27, 1966.
- "Experiments with Windrow Composting of Comminuted Domestic Refuse",  
Bull. No. 29, 1967.
- "Composting of Urban Refuse",  
Bull. No. 32, 1968.
- "Determination of the Oxygen Requirements of Maturing Compost"  
Bull. No. 33, 1968.
- "Determination of the Degree of Maturity of Refuse Compost",  
Bull. No. 35, 1969.

Compost Science:

- "Biological Reactions in Solid Waste Recovery Systems",  
15, 3, p. 2.
- "Scientific Examinations of the Principles and Practices of Composting",  
15, 3, p. 24.
- "Controlling Environmental Parameters for Optimum",  
14, 2, p. 8.
- "Microbial Processes in Composting",  
3, 2, p. 8
- "Solid Wastes Research and Environmental Health",  
3, 2, p. 35.
- "Some Specialized Equipment Used in European Composting",  
4, 1, p. 7
- "Economics of Composting Municipal Wastes",  
4, 1 p. 10.
- "Refuse Communication"  
13, 4, p. 13.



Compost Science: (cont.)

"Effects of Organic Matter on Soil  
Fertility"  
3, 1, p. 36.

Public Works:

"Gas Production in a Sanitary Landfill"  
97 (1), 37 January, 1966.  
"Sanitary Landfill Behavior in an  
Anaerobic Digestion"  
95 (2), 34, February, 1964.

Journal of Sanitary Engineering. Div. ASCE.

"Foundations Problems in Sanitary  
Landfills",  
Vol. 98, No. SA, 4 August, 1968.