

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES EN EL PUERTO DE ACAPULCO

170

T E S I S

Que para obtener el título de

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a n

HERMILO LEAL LARA

OSCAR ARMANDO MONROY HERMOSILLO

170

México, D. F.

1974



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.

CLAS Tesis
AÑO 1974
FECHA _____
PROC U-1 ~~100~~ 161



ADMINO

Jurado asignado originalmente según el tema:

Ing. Ramón Vilchis Zimbrón
Ing. Jorge Martínez Montes
Ing. Oscar Ruiz Carmona
Ing. Jorge Mencarini
Dr. Enrico Martínez

Lugar donde se desarrolló el tema:

Instituto de Geofísica, U.N.A.M.
Puerto de Acapulco, Gro.

Director de Tesis:

Ing. Oscar Ruiz Carmona

Asesor:

Dr. Humberto Bravo Alvarez

A nuestras familias

A la Facultad de Química y

al Instituto de Geofísica

Y sobre todo a quienes sufren la
injusticia de vivir en la basura

Manifestamos nuestra agradeci-
miento al Dr. Humberto Bravo A.
y al Ing. Oscar Ruiz Carmona -
por su valiosa ayuda

T E M A R I O

RESUMEN

INTRODUCCION

- I. METODOS DE DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES
 - II. DESCRIPCION GENERAL DE LA CIUDAD DE ACAPULCO
 - III. GENERACION, COMPOSICION, RECOLECCION Y DISPOSICION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES DE ACAPULCO, GRO.
 - IV. ANALISIS PRELIMINAR Y SELECCION DE ALTERNATIVAS
- SUMARIO, RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFIA

APENDICES:

- A). Tabla de clasificación de la basura
- E). Procedimientos
- C). Análisis de la basura de Acapulco
- D). Producción de basura en Estados Unidos y Guam
- E). Cálculo de la Unidad de Pirólisis

R E S U M E N .

Este trabajo tiene como objetivo proponer un método para la disposición final de residuos sólidos en el Puerto de Acapulco, Gro.

Analiza la generación de basura, las causas que dan origen a los tiraderos y la injusticia que sufren los que tienen -- que vivir en la basura. Se muestran también los diferentes métodos de disposición de basura; de los más sencillos a los más sofisticados, especificando diagramas de flujo. Se hace un análisis de las diversas alternativas dividiendo estas en métodos actualmente en proceso y métodos a nivel de experimentación en --- plantas piloto. Se llega a recomendar como solución, un sistema combinado de composta, incineración y relleno sanitario en una - primera etapa, añadiendo una unidad de pirólisis para una segunda etapa.

Se concluye que este trabajo teórico debe estar basado - en datos experimentales realizados para las condiciones específicas del lugar y que los métodos de muestreo de la basura, aunque correctos, no son del todo válidos estadísticamente.

INTRODUCCION

El problema particular y aislado de la generación y disposición de los residuos sólidos debe enmarcarse dentro de la ecología como ciencia inaadisciplinaria, y a su vez debe tener su campo de acción dentro del contexto económico, político y social que actualmente vivimos.

El hecho de que una ciencia, hasta hace poco marginal, haya ocupado en muy pocos años el centro de enconadas controversias, se debe principalmente a la intervención de los medios de comunicación, que por medio de alarmantes ensayos han llevado a la opinión pública a creer en el cercano fin del mundo.

Todas las investigaciones de la ecología se han encaminado a -- una hipótesis futurista que puede formularse así: Las sociedades industriales producen contradicciones ecológicas que las conducen a su ruina en un tiempo previsible. Esta hipótesis se basa en lo siguiente:

1. El aumento incontrolable de la población mundial, que tiene como origen parcial la industrialización, debido a la inducción de población a los grandes conglomerados urbanos al tiempo que hacen -- crecer las necesidades materiales de dicha población.

2. El proceso industrial agota la materia prima y las fuentes de energía.

3. El proceso industrial ha alcanzado un grado tal de consumo

de agua que ya no se puede abastecer el ciclo natural. Eso orillaría a desalinizar el agua de mar, pero así se aceleraría el proceso de consumo de energía.

4. La producción limitada de alimentos, ya que no se puede -- multiplicar a discreción las áreas agrícolas aprovechables ni su -- rendimiento.

5. La contaminación del mundo que se refiere a los desequilibrios y disfunciones de todo tipo que resultan del intercambio entre la naturaleza y la sociedad humana como consecuencia involuntarias del proceso industrial.

6. La contaminación psíquica producida por el ruido y la falta de espacio.

Existe un cierto concepto de que el proceso de industrialización tal como ahora se desarrolla conduce a la ruina, pero quedan tres preguntas sin responder.

1. El momento de la catástrofe.
2. El peso relativo de cada una de las variables.
3. ¿Qué debe entenderse por catástrofe ecológica; perturbaciones crecientes, el fin de las sociedades industriales o la extinción de la especie humana?. Esta pregunta es la más importante, ya que en función de ésta se responden las dos anteriores.

Los ecólogos, para dar su hipótesis, vacilan entre una teoría científica y una visión totalizante de índole histórico filosófico -- en lo que los aspectos parciales del problema (como la transformación de basura, la contaminación atmosférica) se ubican fuera de con

texto, dando como absolutos estos resultados particulares, y por lo tanto dando una imagen falsa del problema. Un grupo de estos ecólogos es el de los tecnócratas (en todos los niveles del aparato estatal y en la industria), que trata de dar soluciones particulares a problemas particulares. Aquí es donde surge la amenaza de conflictos sociales o económicos. Esta gente sí puede considerarse parte del movimiento ecológico en el sentido de ser sus propios manipuladores y usufructarios. Sus motivos políticos e intereses son evidentes como en el caso del "Club Roma". Otro grupo de "ecólogos", es el de los ciudadanos "conscientes y preocupados", típicos exponentes de la clase media, cuya actividad es aplática por ser de cortos objetivos, no son conscientes de la ingenuidad de sus prácticas y son fáciles víctimas de demagogos. Pueden llegar a ser un factor político de primer orden que expresa sus necesidades legítimas.

En conclusión, se puede decir que en el movimiento ecológico se ha establecido una relación poco clara entre los motivos científicos y una serie de causas e intereses económicos que engendran una situación de clases sociales diferentes sostenidas por el poder político. La neutralidad social que pretende tener la argumentación ecológica es una ficción ya que hace 150 años, el proceso de industrialización había vuelto inhabitables ciudades y comarcas enteras; las condiciones ambientales en los centros de trabajo y en los barrios proletarios eran peñimas. Existe una gran cantidad de fuentes del SXIX donde se puede constatar esto. La situación era propicia para que un observador neutral iniciara reflexiones ecológicas, pero no fue sino --

hasta que los barrios y las condiciones de vida de la burguesía se vieron sometidas a las perturbaciones ambientales que el proceso de industrialización trae consigo, que dió comienzo el movimiento ecológico. Así lo que más importa a los profetas ecólogos, no es tanto el fuerte desgaste ecológico, presentes desde tiempos inmemoriales, sino su generalización a las clases privilegiadas. Lo que antes era privilegio, se vuelve pesadilla. Es claro que las élites de las clases dominantes pueden seguirse dando el lujo de escapar a la pesadilla (comprando playas, zonas residenciales). La pequeña y nueva burguesía no puede sarse ese lujo. Las clases oprimidas no muestran interés por el medio ambiente, ya que su interés primordial consiste en la subsistencia y mejoramiento de condiciones de trabajo. - Se podría concluir que la ecología es un problema ideológico de las élites dominantes inducido a la pequeña y nueva burguesía.

El hecho de que grandes capitalista, como el Club Roma, se hayan convertido en voceros de esta pequeña burguesía se explica, no por -- las condiciones de vida de ésta, sino para el sostenimiento de los intereses capitalistas en el complejo ecoindustrial.

Sin duda, la lucha contra la devastación del medio ambiente, lleva siempre momentos anticapitalistas que los gobiernos han hecho instrumentos de los intereses del capital. Esto se ve cuando las pro---testas ecológicas invocan al estado y este responde con reformismo y tecnocracia, cuando se ven en peligro los intereses del capital, o -- sea cuando peligran las bases materiales de la producción (aire, suelo y agua) y al hombre como factor de producción, ya que disminuye es-

ta capacidad.

La intervención estatal, tiene como campo de acción la disputa del principio de quien origina el daño, la reglamentación jurídica del problema, el alcance de los controles estatales, etc. Todos estos aspectos se pueden estudiar en los principios de la industrialización inglesa revelando una constante didna de atención. Las reformas planeadas servían a los intereses de los industriales procurando la paz y el orden entre los desposeídos. La fuerza de trabajo del proletario no era explotada a lo último si las condiciones de su trabajo no eran saneadas. O sea que desde un principio, los controles ecológicos industriales no pretendían controlar el proceso industrial, sino fomentarlo y asegurarlo.

Ya es sabido que el capitalismo monopolista en su forma actual, necesita resolver problema de distribución a través de despilfarros del consumo y a costa de los presupuestos públicos. Ahora el control industrial del medio ambiente se convierte en un nuevo sector del crecimiento cuyos costos de sociabilizan al cargarse a los precios, y a los impuestos (pagados por las clases menos favorecidas) mientras que los monopolios captan las ganancias.

El complejo ecoindustrial, que tiende a desarrollarse con rapidez, obtiene una doble ganancia:

a). En el mercado tradicional, donde ocasiona una creciente población con técnicas de control financiadas públicamente.

Por estas razones, los monopolios buscan influir en el movimiento ecológico y están representados en las comisiones públicas o priva

das para la protección del medio ambiente.

Se necesita de un proceso de elucidación para que el movimiento ecológico adquiera ese mínimo de conciencia política necesaria para saber los intereses por los que se debe luchar.

Un punto esencial de este tipo de argumentación ecológica es la metáfora de la nave espacial tierra, que considera al planeta como un sistema ecológico global, cerrado sobre sí mismo. Esta fórmula -- que parece sensata oculta en realidad una falsa conciencia. (No distingue entre el trabajador en el cuarto de máquinas y el capitán en el puente de mando). En la práctica, la globalización no puede evitarse ya que es objetivamente ineludible. Pero es a la vez una globalización precipitada ya que se toma a la ecología como una parte de la biología. Es aquí donde radica el error, pues al incluirse la especie humana dentro del análisis, la metodología de la ecología tradicional debe cambiar, porque es el caso del hombre, la mediación entre el todo y la parte, es social y no sólo biológica. Para entenderlo se precisa el uso de una elaborada teoría social y de ciertos supuestos básicos sobre el proceso histórico.

Creemos que la concepción dialéctica de la historia y las relaciones sociales es una forma de abordar seriamente el problema. Se pueden usar principalmente los medios de la crítica de la ideología, que solo tiene sentido si es consciente de sus propias limitaciones. Abandonada así misma, la crítica de la ideología es incapaz de liquidar a sus objetos, ya que ella es solo la interpretación de una interpretación de la realidad. Las necesidades de una población marginada que vive de la venta de la basura que recoge, no se eliminan solo desen--

mascarando los intereses ocultos de sus líderes, ni proponiendo métodos para aprovechar la basura o menos aún criticando los ya existentes.

Existe una tesis que afirman la inminencia de la catástrofe ecológica dentro del sistema capitalista y que el requisito indispensable para toda solución del problema es el establecimiento del socialismo.

Esta sola tesis haría abandonar a cualquiera el análisis de la situación concreta esperando el cambio de sistema. Además, qué se entiende por capitalismo?

Si por capitalismo se entiende el sistema caracterizado por la propiedad privada de los medios de producción, se podría concluir que los países socialistas del Norte de Europa no tienen problemas de medio ambiente. Sabemos que los tienen. Ante eso, hay que insistir en el hecho de que el capitalismo como una formación histórica y como sistema de producción no puede identificarse únicamente con la existencia de determinada clase de propiedad privada de los medios productivos. Nacido de un género determinado de acumulación, reproducción, el capitalismo es un modo de producción que todo lo abarca y no puede eliminarse únicamente a través de la expropiación de los capitalistas. (Aún cuando esto permita asar la plusvalía para fines sociales). La revolución socialista no se puede significar como un simple traspaso de propiedad mientras que las demás relaciones permanecen enajenadas y cosificadas. Una revolución socialista debe conducir a una completa transformación de las relaciones entre los hombres y

de estos con las cosas y la naturaleza en general, debe revolucionar toda la producción social de sus vidas. La revolución debe ser el cancelamiento de la situación proletaria, de la escisión entre el trabajo y su producto, el fin del fetichismo de las mercancías.

Solo esta concepción del capitalismo como modo de producción y no como sistema de propiedad permite entender el problema ecológico con categorías dialécticas. Sólo de esta forma se pueden conceptualizar las alteraciones en el intercambio entre el hombre y la naturaleza, como un estricto resultado de la producción capitalista de mercancías. Esta argumentación permite analizar la razón por la cual se presenta deterioro ambiental en los países socialistas; en ellos, no se ha cancelado la falsa práctica del valor en el intercambio de productos, ni se ha terminado con la contradicción entre el trabajo asalariado y la producción de mercancías, ya que están en una forma de transición que ejerce el perpetuamiento del modo de producción capitalista sobre la relación del hombre con la naturaleza.

La interpretación mecánica de la tesis dialéctica acerca de la agudización de las contradicciones entre las fuerzas productivas y las relaciones de producción, llevó a pensar que la transición al socialismo era facilitada por el desarrollo de las fuerzas productivas; pero la praxis ha demostrado que estas han sido formadas y modificadas tan profundamente por las relaciones de producción, que cualquier intento por transformarlas debe fracasar si no se ha transformado la naturaleza de las relaciones productivas. Por otro lado, a partir de cierto momento, las fuerzas productivas se manifiestan como destructi

vas; no sólo en el sentido específico de la producción militar y el deterioro artificial, sino en el proceso de industrialización que depende de estas fuerzas productivas deformadas. Se trata de una riqueza que engendra miseria y que daña a presente y futuro, y sus víctimas son los pueblos del Tercer Mundo.

Si la hipótesis ecológica es cierta, entonces probablemente las sociedades capitalistas perdieron definitivamente la posibilidad de realizar el proyecto de Marx: La reconciliación del hombre con la naturaleza. Las fuerzas productivas han sido rebasadas por las destructivas. Los países altamente industrializados de occidente no pagarán solos el precio de la revolución que no alcanzaron a realizar. La lucha contra la escasez es una herencia que legan a toda la humanidad. Como corolario, podemos citar lo que escribió Karl Marx en su Manuscrito económico-filosófico: La esencia humana de la naturaleza sólo existe para el hombre social, porque sólo en este caso la naturaleza es un vínculo con el hombre, la base de su existencia para los otros y de la existencia de otros para él..... Así la sociedad es la verdadera unión del hombre con la naturaleza, la verdadera resurrección de la naturaleza, el naturalismo realizado del hombre y el humanismo reelizado de la naturaleza.

¿Cómo ubicar el problema de la basura en el contexto que acabamos de describir?. Se tiene que:

1. La basura es producida por el aumento en el consumo de materiales desechables.
2. Pagamos los costosos envases de la mercancía, y además, indirecta

mente, por recolectar la basura.

3. Las compañías extranjeras usufructan por segunda vez con lo que ya habían obtenido ganancia. Esto es, al vender en el mercado común y luego con los beneficios de las plantas procesadoras de basura, o volviendo a comprar lo reutilizable de la basura.
4. El problema de la basura no había afectado a la clase media, sino hasta que las compañías procesadoras de basura empezaron a ver un negocio en esto.
5. Existe una organización paramilitar entre los pepenadores con objeto de sostener a sus explotadores directos. Esto imposibilita el mejoramiento real de las condiciones de vida de la comunidad.

Ante esto, podemos decir que un método que disponga de los residuos sólidos municipales en Acapulco, debe buscar un medio para solucionar íntegramente los problemas del pepenador. Esto se haría rompiendo sus actuales relaciones de producción y simultáneamente resolviendo sus problemas de subsistencia.

Se debe limitar la generación de basura desde su raíz. Esto se haría reduciendo los empaques superfluos de mercancía, los artículos desechables y las botellas de vidrio no reutilizables. Esto con objeto de frenar nuestra ya acelerada marcha hacia una sociedad basada en el desecho.

El objetivo de esta tesis es proponer un método técnico de disposición de residuos sólidos en Acapulco, Gro., pero tomando conciencia de que debe esear situada dentro de un marco contexto económico, social y político, y no únicamente técnico.

I. METODOS DE DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

Ante el problema de las basuras urbanas, en la actualidad existen varios métodos que pueden ser aplicados para la disposición de las mismas. Estos métodos van desde los primitivos tiraderos a cielo abierto, hasta procesos sumamente complicados, y - que requieren de un mayor desarrollo tecnológico, que haga posible que sean operados eficientemente en un determinado lugar.

Existen principalmente dos características comunes a cualquier tipo de procesamiento de las basuras urbanas, que son, por un lado, la posibilidad de extraer de la basura los componentes que sean susceptibles de volver a ser usados antes de su disposición final; por otro lado, la necesidad de someter la basura a - una fragmentación previa al proceso propiamente dicho.

Características Generales de Fragmentación y Separación (1,2,3)

La fragmentación consiste en la disminución del tamaño promedio de los fragmentos de basura. Con esta operación, se obtiene un aumento de la homogeneidad, facilitando las operaciones de manejo y empaque, por lo que la fragmentación constituye un paso preliminar recomendado para cualquier procesamiento subsecuente.

En los equipos donde se realiza la fragmentación, se hace uso de la acción de tres tipos de fuerzas: de tensión, de compresión y cortantes. Por las características de los diversos procesos de tratamiento de basura, es más conveniente considerar a los

equipos de fragmentación como secos o húmedos. Los equipos de fragmentación más usados son los molinos de martillos, los cortadores, los pulverizadores de tambor, los molinos de disco, los pulverizadores húmedos y otros más.

La separación de la basura municipal en sus diferentes componentes es un paso esencial en las operaciones de recuperación, pero también es de utilidad para otras etapas de procesamiento, dado que permite un ajuste opcional de las condiciones de operación, tomando en cuenta las variaciones en composición de la basura a procesar. La operación de separación puede realizarse manual o mecánicamente. Cuando se realiza mecánicamente, es conveniente que, con anterioridad, se lleve a cabo la fragmentación para aumentar la limpieza de las partículas individuales; por el contrario, cuando la separación es manual, ésta debe preceder a la fragmentación. El método de separación más difundido es el manual, debido principalmente al alto costo del equipo mecánico.

El equipo mecánico de separación se basa, para su funcionamiento, en las diferencias de características físicas entre los diferentes materiales que se encuentran en las basuras urbanas. Las principales características físicas usadas para diferenciar a los componentes de la basura son, principalmente, su forma, densidad, brillantez, elasticidad, reflectancia, susceptibilidad magnética, conductividad eléctrica y absorción de radiación electromagnética. De una manera muy general, las técnicas

de separación mecánica se pueden dividir en: dimensionales, dinámicas, eléctricas, magnéticas y ópticas.

Cuando la separación se realiza mecánicamente, la fragmentación debe antecederle, con lo que puede surgir antagonismo debido a la incompatibilidad de ambas operaciones. Como anteriormente se mencionó, los equipos de reducción de tamaño son secos o húmedos; los sistemas secos de reducción de tamaño son más flexibles en su operación, permitiendo sistemas de separación mecánica, tanto secos como húmedos. Por otro lado, los equipos húmedos de reducción de tamaño no pueden ser acoplados a un sistema seco de separación, ya que los costos de secado serían muy altos.

Recuperación y Aprovechamiento de los Materiales de las Basuras Municipales.

Este aspecto comprende los diversos procesamientos a los que se someten los productos de desecho para su uso posterior. Para este fin, la basura municipal se puede clasificar en: (94) - madera, papel, textiles, parte orgánica, hule, plásticos, metales y vidrio.

Muchos de los productos de desecho que se encuentran en la basura pueden y son directamente usados, formando parte del patrón cíclico de uso-reuso. (93,94) Para diseñar una operación a este nivel, es absolutamente necesario efectuar una investigación de mercado a priori.

Metales Ferrosos.- Dentro de esta división, se encuentran los envases de hojalata usados para la conservación de car-

nes, frutas y demás; en México, éstos constituyen la mayor parte de la fracción metálica de las basuras urbanas. Otras fuentes - productoras de estos materiales son los talleres, plantas industriales, industrias automotrices, etc., pero sus desechos no llegan usualmente a la basura urbana.

Existen varios procesos para el tratamiento de este tipo de desechos, pero en el caso de la hojalata, es absolutamente necesario la extracción del estaño de la aleación por un proceso - alcalino (95). La hojalata es tratada con una solución caliente de sosa cáustica, en presencia de un agente oxidante como nitrato o nitrito de sodio, el estaño se disuelve como estanoato de sodio y, posteriormente, se recupera en forma metálica por electrólisis. Se presentan interferencias al proceso causadas por la presencia de grasas, ceras o aceites; por lo que el uso potencial - de los botes de hojalata por este método está en función de la posibilidad de conseguirlos libres de impurezas. (96) Después - de este primer paso (la extracción del estaño), se tienen tres - posibles tecnologías para la utilización de los materiales ferrosos. Una implica el uso de la lámina ya sin estaño, como hierro de precipitación en la beneficiación del cobre, por medio de un proceso de intercambio iónico fierro-cobre. Otra tecnología para su utilización consiste en usarlos en la fabricación de nuevas láminas de hojalata. La tercera posibilidad es usarlos como materia prima para la fabricación de acero. Siempre, el princi-

pal problema radica en que la extracción del estaño de la hojalata no es lo suficientemente efectiva.

Metales no ferrosos.- Dentro de este tipo de metales, el aluminio es el único que se encuentra en las basuras municipales en cantidades apreciables; principalmente se encuentra en la forma de envases de bebidas gaseosas y de cerveza. En los Estados Unidos se reprocessa alrededor del 5% de su producción anual en la fabricación de nuevos envases (97). El problema presente en este caso radica en la obtención de los envases de la basura municipal, ya que los problemas de tecnología son mínimos.

Vidrio.- Su porcentaje dentro de las basuras urbanas ha aumentado sensiblemente en los últimos tiempos, debido principalmente al advenimiento de las botellas no retornables (1). En 1960, la vida promedio de una botella oscilaba entre 35 y 40 viajes redondos. Actualmente, para botellas normales, el promedio es de ocho viajes, mientras que las no retornables efectúan un solo viaje (98). Para fines de reutilización, se pueden considerar dos tipos de vidrio: uno es el de las botellas y envases similares, y el otro es el vidrio laminado que es principalmente un desecho de tipo industrial.

Se presentan problemas en reprocessamiento de vidrio procedente de la basura municipal, debido a características inherentes a proceso de fabricación del vidrio (99). Los principales constituyentes del vidrio son sílica (70%) y cal; el color y la calidad

del vidrio dependen de la composición exacta del mismo, el color es producido en el horno de fundición por la reacción de los óxidos de azufre, de carbón, de cromo y de fierro; ya una vez en el vidrio, es muy costoso quitarlo. Como el mismo color es producido por varios compuestos, no se puede predecir el efecto producido al agregar vidrio procedente de la basura a una carga ya balanceada.

Una característica necesaria para el procesamiento del vidrio implica su separación con un alto grado de pureza. Existen varios métodos industriales para lograrlo (1).

También existen otros usos que se le pueden dar al vidrio y no requieren de una tecnología tan desarrollada. Los principales son: como adhesivo en materiales de construcción y en asfalto, en las pinturas luminescentes usadas para las carreteras, en abrasivos, en materiales refractarios, como aislante, ya sea en forma de fibra mineral o como espuma con características inodoras impermeables. No obstante todos los posibles usos, muchos son ya practicados, el volumen de vidrio en la basura urbana es tan grande que sólo es posible reprocesar una fracción pequeña del total. Una solución para disminuir sensiblemente el volumen de desperdicio en vidrio en las basuras urbanas es atacando el problema de los envases no retornables.

Plásticos.- Por el momento, constituyen una fracción pequeña de las basuras municipales, que se espera que aumente considerablemente dentro de muy poco tiempo, ocasionado por el uso

muy difundido que tienen los plásticos como material de empaque. -

Los plásticos se dividen en termoplásticos y termoestables. Hasta el momento, los únicos plásticos susceptibles de ser sometidos a reprocesamiento son los termoplásticos, los cuales pueden -- ser fundidos, fabricándose con ello nuevos productos. Se usan -- principalmente en la manufactura de enseres domésticos económicos, juguetes, cubiertas de alambre, empaques, botellas, tubos, etc. - Los principales termoplásticos dentro de la basura urbana son el polietileno, el cloruro de polivinilo y el poliestireno.

Los plásticos termoestables no son susceptibles de reprocesamiento, ya que en su estructura molecular contienen enlaces cruzados entre las diferentes cadenas de polímeros que, de este modo, se unen entre sí en todos sus puntos de cruce; en esta característica estructural radica su resistencia al calor y a los solventes químicos. No obstante, existe el hecho de que los plásticos termoestables sometidos a una destilación pirolítica se descomponen en polímeros de cadena corta. En base a lo anterior, es posible que en un futuro muy próximo su aprovechamiento sea justificable. - Plásticos típicos termoestables son la bakelita, la melanima y, en general, los derivados de urea formaldehído.

Por el momento, el principal problema en la reutilización - del plástico de los desechos urbanos radica en la inexistencia de una tecnología adecuada para el reprocesamiento de plástico mezclado (tal y como se encuentra en la basura); no obstante, en México existe cierta demanda por estos materiales con un buen precio de compra, con la condición de que sea de buena calidad, y sin conta-

minantes y, además, el material plástico debe ser de un solo tipo.-

Textiles.- De manera general, la separación de los textiles de los desechos municipales presenta dificultades por la presencia de contaminantes y por la dificultad para separar las fibras naturales de las sintéticas, aunque esta última dificultad es únicamente importante en el caso de pretender usar a los textiles de algodón en la fabricación de papel fino de escritura (96).

En la actualidad, la mayor parte de los textiles recuperados son usados en la fabricación de colchones, de estopas y productos similares en México. En menor escala, son también usados industrialmente como trapos de limpieza o de secado.

Papel.- Los productos de papel son el componente más grande dentro de las basuras urbanas en los países con sociedades de consumo más acentuadas. En los Estados Unidos, su porcentaje es de 40 a 50%. En países como el nuestro, su porcentaje no es tan alto, pero no deja de ser considerable. No obstante estas grandes cantidades de desperdicio de papel, la mayoría de papel sujeto a procesamiento es de origen industrial; una razón para ello es el alto grado de impurezas que provienen con el papel en la basura municipal, así como la falta de plantas de tratamiento integral de los desechos urbanos.

La última novedad en el campo de desperdicios de papel es un proceso de destintado (Garden St. Paper Co., Garfield, N.J.) (100), en él se obtiene papel de alta calidad para la impresión de periódicos a partir de papel periódico usado. Con este mismo fin, anteriormente se procesaban libros y revistas, pero éstas últimas presen

tan ya grandes dificultades causadas por el aumento de adhesivos y otros contaminantes empleados en su manufactura.

Otro posible uso del papel de desecho es como sustituto de la pulpa, usándolo como elemento decorativo o bien comprimiéndolo, lo que solo requiere de un procesamiento sencillo. El uso del papel en lugar de la pulpa natural, está siempre condicionado a factores de tipo económico; es decir, se usa solo cuando los costos del procesamiento sean menores que en el caso de que se usara pulpa natural.

La mayor parte del papel reprocesado actualmente, se usa en la fabricación de cartón en todas sus variantes: productos de pulpa moldeada (cartones de huevos), cartón corrugado, papel corriente, etc. Solo en el último caso así como en la fabricación de materiales de construcción, es factible que pudieran ser empleados casi la totalidad del papel que se encuentra en los desechos urbanos, fuera de esto y especialmente en la fabricación de papel para impresión y escritura, únicamente se puede procesar periódico limpio y papel de empaque sin que se tengan muchos problemas.

Hule. Desde 1839 en que se creó el hule vulcanizado, no existían métodos prácticos para el reprocesamiento de desperdicios de hule hasta en 1944 en que se desarrolló el proceso de desvulcanización (101). En la actualidad la reutilización del hule posee dos factores importantes, no asociado en otro material dentro de los desperdicios urbanos (1): Uno es la existencia de un método práctico de recuperación, el otro es que para este reprocesamiento la cantidad del desecho no es un factor determinante.

Inclusive, el reprocesamiento de desechos de hule presenta ven
tajas adicionales, ya que este es más fácilmente masticado mecánica-
mente que el hule crudo y la mayoría de los hules sintéticos, obte-
niéndose a veces mejor hule que el natural dependiendo de los aditi-
vos agregados. Otra técnica desarrollada con éxito ultimamente es
la pirolisis de llantas, obteniéndose carbono activado que posee un
amplio uso en el tratamiento de aguas.

El porcentaje de hule en la basura municipal es bajo (0.5-15%),
constituido principalmente por botellas, zapatos y otros enseres do-
mésticos que contienen partes de hule, y ocasionalmente llantas de
hule pero su vía de recolección no es por medio de la basura urbana.

Una conclusión de los conceptos anteriormente expresados, sobre
la separación de los materiales potencialmente valiosos de las basu-
ras municipales con su posterior procesamiento para obtención de --
nuevos artículos, compete desventajosamente con los procesos de --
transformación como son la pirolisis, la incineración con generación
de energía, la biodegradación, y la compostación en el caso de los-
países altamente industrializados. No obstante que estos últimos -
procesos necesitan que la basura sea previamente separada de sus --
partes indeseables para dichos procesos (metales, vidrio, plásticos
y hules generalmente). La posición desventajosa para el reciclaje
de los componentes de la basura, se puede explicar porque en la ac-
tualidad todavía existe un suministro adecuado y a bajo costo, de -
la mayoría de las materias primas que pudieran ser reemplazadas por

los diversos componentes de la basura; una segunda razón es la alta pureza requerida en los materiales extraídos de la basura para que puedan ser reprocesados, no obstante que este obstáculo es técnicamente posible de ser superado.

En países como el nuestro características especiales como mano de obra barata y alto grado de desempleo, así como un nivel de industrialización incipiente, el uso de materiales de desecho es una realidad, con la ventaja de que estos materiales tienen buenos precios en el mercado, con lo que su venta puede reportar grandes beneficios a una planta integral de tratamiento de basura.

Tiradero a Cielo Abierto.

Este es el sistema más antiguo, más rudimentario, más económico al mismo tiempo más insalubre, y por lo tanto no recomendable.

Las basuras urbanas están constituidas por materiales muy heterogéneo, mal olientes y de fácil putrefacción que constituyen un medio ideal para el desarrollo de toda clase de microorganismos patógenos, que en un momento dado pueden representar una grave amenaza a la salud pública sobre todo cuando no se observan, como generalmente ocurre, las medidas sanitarias más elementales. Es también necesario recordar que en las basuras municipales provienen desechos de hospitales, clínicas y similares, que lógicamente son el principal medio de inoculación de microbios patógenos de máxima peligrosidad; este problema se ve enormemente acrecentado en las zonas tropicales donde las condiciones de humedad y temperatura son muy favorables para ello.

Los microorganismos que proliferan en las basuras urbanas, ocasionan que las materias orgánicas contenidas en la basura sufran -- una fermentación y putrefacción. Dependiendo del grado de humedad, esta transformación de la materia orgánica termina después de varios años en una mineralización total de lugar, teniéndose un conjunto - de polvo mineral con restos de cristales, metales y plásticos. El agua proporcionada por la lluvia es muy poca ya que se evapora rápi- damente, sin penetrar mucho en la masa de basura debido a las altas temperaturas existentes en el interior de la masa de basuras (causa- das por la actividad microbiana), con esto la transformación es len- ta persistiendo el riesgo de contaminación por mucho tiempo.

Gran cantidad de los microorganismos patógenos que existen en los tiraderos, son transportados en el polvo arrastrado por los --- vientos, por las moscas y otros insectos, por roedores y también -- por las aguas de lluvia que infiltrándose por el subsuelo llegan a los mantos freáticos subterráneos convirtiéndolos en otro vector de microbios patógenos.

Los tiraderos por lo general se encuentran lejos de la zona ur- bana y los caminos de acceso son muy defectuosos, con lo cual los - camiones recolectores de basura ocupan un tiempo mayor en el reco- rrido de sus rutas con el consiguiente aumento en el costo de com-- bustibles, de trabajo y mantenimiento, así como un acelerado dete-- rioro de los equipos.

El mayor problema existente al hablar de los tiraderos es el - problema social que traen aparejados. Todos los problemas referen--

tes a la insalubridad son resentidos en grado superlativo por el -- grupo marginado de los pepenadores, ya que toda su vida transcurre en ese sitio. Los efectos visibles (mal nutrición, infección y parasitismo crónico y endémico) que estas gentes presentan son alar-- mantes, pero más alarmantes todavía son los efectos no visibles a - simple vista, como es el gran daño psíquico causado en ellos por -- las condiciones infrahumanas en que viven, en contraste con las in-- sultantes fastuosidades presentes a unos cuantos kilómetros de -- distancia. Para saber la cuantía de este tipo de daño sería neces-- ario un estudio profundo hecho por especialistas. No obstante, con las lógicas limitaciones los autores pudieron darse cuenta, del --- efecto causado a estos núcleos de población por las condiciones de vida en que se desenvuelven; carecen de motivaciones culturales y - sociales saludables, la vida es para ellos un pozo o un círculo del cual no es posible salir y por lo mismo carecen de cualquier afán - de superación personal (no del de superación económica sino del sa-- no afán de superación como Seres Humanos). Los niños en lugar de - ir a la escuela tienen que trabajar en la basura y sus únicos jugue tes y distracciones son cosas que encuentran entre los desperdicios.

Relleno Sanitario.

Este método consiste en colocar la basura en la menor área po-- sible y menor volumen posible cubriéndola con capas de tierra sin - causar molestias al medio ambiente.

Consiste en cuatro operaciones básicas:

- se depositan los residuos sólidos en un área designada y -- preparada;
- esparcir y compactar los residuos sólidos en capas delgadas;
- cubrir diariamente o con mayor frecuencia si es necesario - con capas de tierra de 20 cm de espesor;
- compactar esta tierra diariamente.

Ciertamente este método de disposición de basura es barato y -- además aprovecha un terreno antes inútil. El diseño, construcción y operación de un relleno sanitario es un proyecto de ingeniería basado en hidrología, geología e ingeniería sanitaria.

Existen dos métodos básicos. En el método trinchera se cava -- una zanja, se esparce, se compacta y se cubre con tierra al final de cada operación. Esta operación se repite hasta que la zanja se ha - completado. Como se ve, este método puede ser usado en lugares con mantos freáticos bajos y con una capa de tierra profunda y suave para poder hacer la excavación con facilidad.

El otro método, el de área, es el de relleno en la superficie y se aplica en lugares donde existen depresiones tales como cañadas, - pequeñas fallas, etc. En este caso, nos evitamos el cavar la zanja, pero nos obliga a tener que traer material de relleno de otro lugar.

En ambos casos, lo que se forman son celdas de basura sobrepuestas, separadas por la capa de tierra. Al terminar todo el relleno, se cubre con una capa final de sesenta cm de espesor de tierra.

Las principales desventajas del relleno sanitario son: posible

contaminación de mantos freáticos.

Se deben tener precauciones para disponer de

- Los gases de descomposición, dentro de ellos el metano que es explosivo;
- el volumen relleno sufre un asentamiento del relleno;
- oposición de la gente, a quien se le causará molestias en un principio.

Sus principales ventajas sobre otros métodos son:

- el relleno sanitario es el método más económico de disposición, teniendo como renglón importante una baja inversión inicial;
- el relleno sanitario puede recibir cualquier clase de residuos sólidos;
- es una forma de disposición muy flexible, ya que los aumentos de cantidad de basura se pueden absorber fácilmente;
- existen terrenos en zonas marginadas que pueden ser acondicionados por este método, para parques.

Para efectuar un relleno sanitario, se tienen que seguir los siguientes pasos:

1. Selección del sitio
2. Diseño
3. Operación.

Para la selección del sitio, es necesario tener en cuenta:

- cantidad y calidad de residuos sólidos;
- distancia al lugar donde se efectúa la recolección;

- accesibilidad de los camiones recolectores en toda época del año;
- todas las cuestiones relacionadas con el terreno; como la propiedad, vecinos, uso actual del terreno, etc.
- facilidad para adquirir el material de recubrimiento;
- la geología del terreno, para determinar las propiedades de la tierra y de los mantos freáticos;
- facilidades para control de incendios.

Para el diseño es necesario saber el uso que tendrá el área una vez terminado el relleno, para así poder planear los siguientes trabajos de ingeniería:

- planos detallados sobre la topografía del terreno, el drenaje, caminos interno y de acceso, cercas, señales, servicios para los trabajadores;
- especificaciones sobre materiales de construcción, equipo, número de trabajadores y en general las especificaciones de operación;
- como el pesado de basuras, el área de cada celda y el grosor del recubrimiento, etc.

Para la operación de un relleno sanitario es necesario tener una buena supervisión, datos de operación y escoger el método.

El equipo a usarse en un relleno sanitario dependerá de la cantidad de residuos sólidos, del método, del terreno, del tipo de tierra. Un tractor de ruedas o de cremalleras puede llevar a cabo

todas las operaciones; esparcir la basura, compactarla, cubrirla, excavar y aún transportar la tierra. (Ver Tabla I).

TABLA I.1 EQUIPO EMPLEADO EN RELLENO SANITARIO

	Tonelaje diario	cantidad	Equipo		Accesorios
			tipo	tamaño en Kg	
1	0 - 46	1	Tractor de oruga o de llanta	5000 a 15000	Navaja dozer hoja de relleno. Cargador frontal (1 a 2 m)
2	46 - 155	1	Tractor de oruga o de llanta Grúa <u>ex</u> cavadora o <u>re</u> cortadora	15000 a 60000	Navaja dozer hoja de relleno. Cargador frontal (2 a 4 m)
3	155 - 310	2	Tractor de oruga o de llanta Grúa <u>ex</u> cavadora o <u>re</u> cortadora	15 o más	Navaja dozer hoja de relleno. Cargador frontal (2 a 4 m)
4	310 o más	2	Tractor de oruga o de llanta Grúa <u>ex</u> cavadora o <u>re</u> cortadora	27500	Navaja dozer hoja de relleno. Cargador frontal (2 a 4 m)

Los parámetros que se deben observar en un material de relleno son:

1. La relación humedad, densidad, que nos da una idea sobre las características de compactación.
2. La permeabilidad, que gobierna la velocidad a la cual pueden salir gases y entrar agua.
3. La contracción al secarse, que nos indica la tendencia a la -- fractura.
4. Tendencia a encenderse; que nos da una medida indirecta de su contenido orgánico y de la facilidad para iniciar y mantener una combustión.

No se debería seleccionar una sola clase de tierra para relleno en toda la operación, sino que se debe hacer una selección de -- varias clases, para cada etapa de construcción con sus características particulares se seleccionará tierra con características complementarias.

Con la siguiente tabla se podrán relacionar las funciones del material de relleno con las características que debe poseer.

TABLA I.2 CARACTERISTICAS DE LA TIERRA (7)

Función	Características de la Tierra
Control de vectores	Altamente cohesiva, bien compactada bajo índice de contracción, capa -- profunda
Control de humedad	Baja permeabilidad, bajo índice de contracción, bien compactado
Control de gases*	Alta o baja permeabilidad, alta o baja densidad
Control de combustión espontánea	Baja permeabilidad, bien compactado
Control de povaredas	Textura uniforme, lo suficiente para evitar ser levantada por el -- aire
Para mantener cualquier tipo de vegetación	Suficientes nutrientes, gran capacidad para retener humedad

(*) Dependiendo del destino que se quiera dar al gas; que se disperse uniformemente en la celda o que sea una barrera de gases.

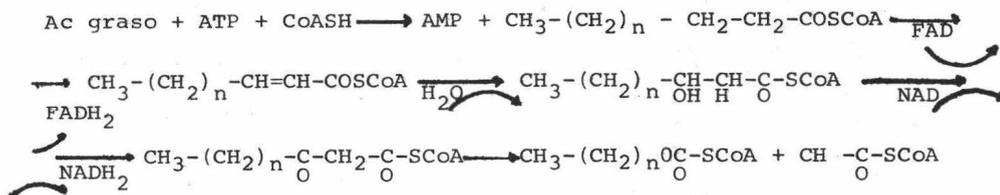
Los desperdicios enterrados como relleno sanitario sufren cambios físicos y químicos como resultado de una actividad biológica, de reacciones químicas y de cambios físicos en el medio ambiente. - La actividad biológica en la basura (8) produce sólidos, líquidos y gases por la acción de microorganismos aeróbicos, anaeróbicos y facultativos que utilizan materiales orgánicos e inorgánicos para la degradación.

Unos microorganismos, al hidrolizar y oxidar parcialmente - carbohidratos, proteínas y lípidos producen ácidos grasos, alcoho--

les y cetonas (9).

Para la descomposición de carbohidratos, estos tienen que estar en forma de mono o disacáridos, lo que se logra con las aminas extracelulares llamadas hidrolazas que hidrolisan a estos carbohidratos para que puedan difundirse por la membrana celular y metabolizarse. Por ejemplo, la amilaza hidrolisa al almidón para darnos la maltosa. Esta amilasa la pueden sintetizar el bacilo subtilis, clostridium perfringes, etc. Después, la maltosa hidrolisa a la - maltosa hasta glucosa, y ésta por glicólisis pasa a alcoholes (9), ácidos orgánicos, aldehidos y cetonas, dióxidos de carbono y metano dependiendo de los microorganismos presentes y las condiciones ambientales.

Los ácidos grasos menores parecen ser los intermediarios en la descomposición de carbohidratos antes de la formación del metano. En la descomposición de los lípidos se realiza también una - hidrólisis por medio de la lipasa. Los ésteres glicéricos de los ácidos esteárico, palmítico y oleico constituyen el grueso de las grasas y aceites en los desechos de comida y son de importancia - en la descomposición del entiero. La descomposición anaeróbica - de la porción glicérica del lípido es similar al metabolismo de - los carbohidratos por la producción de ácido pirúvico y su degradación (9). La degradación de la porción de ácidos grasos sigue - aparentemente, la ruta de la oxidación en la mitocondria de la cé - lula hasta ácido actico.



La carne y las levaduras son compuestos nitrogenados debido a su composición protéica. La descomposición de las proteínas - se puede llevar a cabo de diferentes maneras; la deaminación hidrólítica, descarboxilación, deaminación reductora, formación de amoniaco sin reducción (9).

Se puede decir que bajo condiciones anaeróbicas, los cambios putrefascibles forman compuestos malolientes como mercaptanos, --aminas, fenoles, ácido sulhídrico, amoniaco.

Dependiendo del tipo y caracter de los materiales de desperdicio la humedad del lugar, su temperatura, pH, el proceso de degradación será lento o rápido.

Podemos dividir el proceso de descomposición en dos fases: - la primera, que es aeróbica dándonos dióxido de carbono, agua, nitritos y nitratos. A medida que se consume el oxígeno, los microorganismos facultativos y anaeróbicos empiezan la descomposición de los productos orgánicos a una velocidad menor, y nos dan como productos de descomposición ácidos orgánicos, nitrógeno, amoniaco, sulfuros de fierro, manganeso, hidrógeno y metano. Hay que tomar en cuenta que el agua arrastrará los contaminantes. Este movi---miento de agua se lleva a cabo por filtración desde la superficie

o por intrusión de agua subterránea. Por esto se tiene que saber las condiciones hidrogeológicas del sitio para diseñar adecuadamente el relleno sanitario.

El diseño del relleno debe tener en cuenta un plan específico que considere las condiciones normales y anormales de operación y los costos. El Servicio de Salud Pública de los E.U.A. -- (7), (10), estimó en 1970 los costos que resultaron de \$ 47.50 -- por tonelada para relleno con una capacidad de 50 toneladas diarias, \$ 30.00 para 300 toneladas diarias y \$ 12.50 para capacidades arriba de mil toneladas. Principalmente hay que tener en -- cuenta el uso que se le dará al relleno una vez terminado.

Una vez que está en operación el relleno, se debe llevar -- un control adecuado como calidad, peso, tipo y origen de la basura, topografía que va adquiriendo el terreno, gases desprendidos. Todo esto se hace para determinar la compactación, eficiencia de operación, uso del terreno y algún asentamiento por descomposi---ción.

El relleno sanitario, una vez terminado puede servir para parques y lugares de recreo como el Parque Balboa en San Diego -- California (7) y Riverview en Detroit en Estados Unidos. Aunque se le pueden dar otros usos, la tendencia hacia parques es fuerte debido a que la gente no pasa todo el día en ellos. No es recomendable construir o plantar o construir en un relleno terminado, debido a la cantidad de contaminantes y a que en un principio no existe un buen asentamiento en el terreno. En 5 años se logra --

aproximadamente un 90% del asentamiento.

Es necesario recalcar la importancia de saber el uso del relleno sanitario para que en función de esto, y teniendo en --- cuenta todas las particularidades tanto desfavorables como favorables, se tomen todas las medidas necesarias para tener un lugar seguro y agradable para los futuros usuarios.

Disposición Marina

Las experiencias actuales con un registro de niveles altos de contaminantes en los océanos, son el principal argumento contra de este método, sobre todo después de observar los efectos desastrosos (irreversibles muchas veces) causados a la flora y -- fauna marina, cuando se producen choques entre barcos petroleros principalmente. Otros contaminantes de los océanos sumamente peligrosos son los metales pesados y algunos hidrocarburos clorados (principalmente los usados como insecticidas) ya que como son pro ductos no de origen natural causan modificaciones substanciales - al ecosistema. Todo lo anterior ha reformado la idea de que es - posible arrojar impunemente al mar una cantidad infinita de conta minantes, ya que una vez que alguno de estos entra a la cadena -- alimenticia, se concentra gradualmente en el último consumidor de bido a la imposibilidad de metabolizarlos (1).

Por otro lado, ciertas basuras y las urbanas entre ellas, al depositarlas en el mar pueden actuar como fertilizantes y amen tar la productividad del mar (11). De esta manera se puede obte--

ner una utilización altamente efectiva del vasto espacio marino - por medio de una disposición marina controlada (12), seleccionando y acoplado las combinaciones más apropiadas entre tipos de basura y áreas oceánicas; por ejemplo, en el fondo marino existen - fallas donde en forma periódica ocurren plegamientos tectónicos - con lo que se cubriría la basura depositada en ese lugar. Asimismo, en las aguas templadas ocurre una biodegradación rápida del - material orgánico de manera similar a como ocurre en los rellenos sanitarios (13). Existe también un factor importante para fomentar la disposición oceánica de objetos voluminosos no compactos - (como carros usados), ya que favorecen la proliferación de la flora marina y ofrecen un habitat a especies marinas pequeñas.

En los Estados Unidos este es un método bastante usado principalmente para disposición de basuras industriales, estando bajo reglamentación gubernamental (14,15).

Actualmente se operan dos métodos para la disposición --- oceánica de residuos (1). En ambos casos, la basura es transportada mar adentro por lanchones autopropulsados con capacidades entre mil y cinco mil toneladas. En un método (16), la basura es - transportada en el lanchón tal y como se recibe del sistema municipal de recolección y la descarga se efectúa con el lanchón en - movimiento, a una velocidad de descarga que varía entre 4 y 20 toneladas por minuto. En el segundo método la basura es densificada por medio de una compactación realizada antes del embarque, con lo que se logra una inmersión rápida y segura (17).

Compactación

La compresión o compactación de las basuras municipales es el método más directo para obtener su reducción de volumen. Actualmente esta operación se lleva a cabo a dos niveles; siendo la más extendida la compactación a bajo nivel realizada por compactadores estacionarios, los mismos camiones recolectores poseen dispositivos para este tipo de compactación.

La compactación a altas presiones de los desechos urbanos - fue popularizada en 1967 por la compañía Japonesa Tezuka Kozan Co. (18), pero también existen otras tecnologías (19,20, 21).

Los métodos de compactación poseen ciertas características que les son comunes (22), las más importantes de las cuales son:

1. La densidad del producto compactado (bala) depende de las características de los sólidos (composición y humedad) y de la presión ejercida por el martillo hidráulico.
2. Con basuras urbanas se ha visto que los mejores resultados se obtienen con una presión de 180 atmósferas, ya que a presiones mayores las balas se expanden al salir del compresor.
3. El producto compactado más estable se obtiene cuando el contenido de humedad de la basura a compactar es de 25%. Con una humedad mayor del 30% las balas carecen de la consistencia necesaria, de igual forma, los materiales muy secos no son tan estables como cuando la humedad es del 25%; no obstante, ciertos materiales completamente secos se comprimen muy bien como

es el caso del papel.

4. Las balas obtenidas por este método resisten caídas de hasta 6 m. sin sufrir alteraciones notables.
5. La descomposición de las balas es de tipo aerobio, por lo que se produce solamente bióxido de carbono y no metano, con lo que desaparecen los riesgos de incendio y la presencia de malos olores.

Entre las principales ventajas que presenta este método de disposición de basuras, se pueden enumerar las siguientes:

1. Es posible efectuar el procesamiento de todo tipo de basuras incluyendo las no combustibles y los plásticos.
2. La reducción de volumen obtenida es mayor que la lograda en otros métodos tradicionalmente usados, como es el caso de la incineración.
3. La inversión inicial es aproximadamente 10 veces menor que la requerida en un proceso de incineración, y los costos de operación de la compactación se encuentran entre un tercio y la mitad de -- los costos de operación del sistema de incineración.
4. La operación del equipo de compactación no es muy complicada.
5. La contaminación de agua o aire es insignificante.
6. El producto es fácil de manejar, transportar y enterrar sanitariamente, permitiendo una futura recuperación de los materiales de basura.

No obstante lo anterior, este método se encuentra en desventaja ante otras tecnologías que consideran a la basura, no como un desperdicio sino como una fuente de recursos, como es el caso de la pi-

rolisis, la compostación, la biodegradación e inclusive la incineración con aprovechamiento de la energía desprendida, ya que por su naturaleza, la compactación impide cualquier generación de recursos en su operación.

INCINERACION

La incineración es un proceso de oxidación controlada de los materiales combustibles de las basuras, la mayor parte de los cuales son convertidos teóricamente a bióxido de carbono, agua y residuos sólidos. Los residuos sólidos de este proceso consisten en principalmente de cenizas, metales, vidrio y combustibles no completamente destruidos; estos residuos deben ser eliminados lo cual se hace generalmente con un relleno sanitario.

Incineración en Pozo Abierto

Este sistema de incineración es sumamente sencillo, está constituido por un pozo con paredes de concreto reforzado y material refractario sobre las mismas y el piso. El pozo tiene como medidas teóricamente óptimas 3.45 m. de altura, 2.65 m. de ancho y 5.30 m. de largo (23,24).

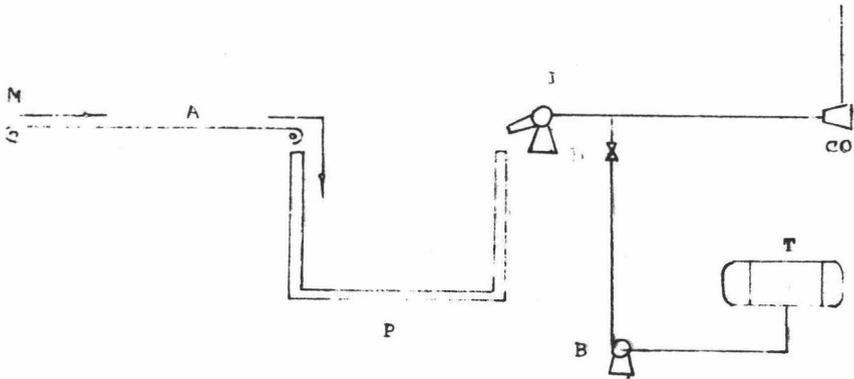
La basura es cargada por un lado del pozo (a lo largo), en el extremo opuesto se tienen una serie de boquillas colocadas cerca una de otra, inyectándose por medio de ellas aire a alta velocidad el que crea una acción envolvente sobre la zona de quemado. De esta forma se regresan partículas y gases no quemados a la zona de combustión, con lo que disminuye la producción de humo (con una operación apropiada, el humo producido raramente excede el valor de 1

en la tabla de Ringelmann).

La capacidad de operación está en función del valor del contenido calorífico de la substancia combustible alimentada, del volumen de aire inyectado por el arreglo de boquillas, del tamaño y configuración del pozo así como del método de carga. Usualmente se opera con un 300% de aire en exceso a un flujo recomendado de 24 metros cúbicos por minuto, considerando que se quema basura urbana típica -- (2780 calorías por gramo) (25).

Este sistema soluciona el problema del alto flujo de calor al eliminar la estructura cerrada, disipándose el calor por convección directa y por radiación; con ello se obtienen varias características deseables como, altas velocidades de combustión y tiempos de residencia grandes lográndose con ello una combustión y tiempo completa. -- Por otro lado, debe hacerse notar que la concentración de partículas suspendidas en el aire es un poco mayor cuando se usan este tipo de incineradores que para cuando se usan los incineradores convencionales de cámara cerrada (26), 57.1 microgramos por centímetro cúbico -- contra 45.7 microgramos por centímetro cúbico respectivamente. No obstante, en incineradores de este tipo actualmente en operación, se registra una concentración de partículas un poco alta dentro de un radio de 61 m., pero fuera de este, la concentración de partículas-- suspendidas en el aire disminuye a los niveles aceptables, por las -- normas de calidad del aire vigentes en los Estados Unidos (27).

La inversión inicial requerida para este proceso es comparativamente baja, con un valor promedio de \$ 800,000 pesos para una uni-



ACOMODACIONES

M Basura ya clasificada

A banda alimentadora

P pozo de incineración

I boquillas de inyección de aire

CO compresora

T tanque de almacenamiento de combustible

B bomba

Fig I-1 Diagrama de flujo para el proceso de incineración de basuras en pozo abierto.

dad comercial (con las dimensiones mencionadas en un principio), incluyendo un lugar cubierto para el almacenamiento de la basura y -- una cubierta de malla metálica sobre el pozo. La capacidad de esta unidad es de aproximadamente 2.3 toneladas por hora. Los costos de operación son bajos ya que solo son necesarios dos hombres para -- operar dos pozos, y la energía consumida por los ventiladores y los sistemas de carga no es muy considerable.

En la actualidad, este método se ha usado solamente para basuras industriales, como se ha visto este método no es recomendable para la disposición de las basuras municipales, pero debido a la baja inversión necesaria, se le puede considerar como una alternativa viable para municipios pequeños.

Este método no nos permite extraer ningún beneficio de la basura y por lo mismo, su operación es siempre con déficit, es decir, el capital inicial y los costos de operación son inversiones no re-dituables.

Incineración en hornos convencionales

Este proceso de incineración consta esencialmente de un pozo de almacenamiento, un sistema de carga y alimentación al horno, un sistema de combustión, una cámara de enfriamiento de gases, un sistema de limpieza de los efluentes gaseosos y una chimenea.

En los sistemas de incineración en cámara cerrada se operan fundamentalmente dos variantes en el sistema de combustión; la más común hace uso de una serie de parrillas móviles por debajo de las

cuales se alimenta gas primario de combustión (28, 29, 30, 31, 32, - 33, 34, 35). La otra posibilidad consiste en substituir las últimas parrillas de combustión por un horno rotatorio cilíndrico, en este caso el gas de combustión es alimentado a contracorriente por el extremo final del cilindro (36,37). El diseño de ambos sistemas es el mismo, con la única diferencia en el extremo final de las parrillas de combustión.

En el sistema de combustión también se pueden considerar dos elementos, el horno y la cámara de combustión (38,39).

El horno es una estructura cerrada y protegida internamente con material refractario. Como se mencionó anteriormente está equipado con parrillas o con un cilindro rotatorio y recibe un suministro de grandes volúmenes de aire, ocurriendo, aquí la mayor parte la combustión. La temperatura de operación del horno se debe encontrar entre 700 y 1100°C, lo cual se debe a que la temperatura mínima para destruir casi todos los aldehidos, mercaptano y los hidrocarburos de mal olor producidos por una oxidación incompleta es de 700°C, y por otro lado, a temperaturas mayores de 1100°C son considerables los daños causados a los refractarios, además de que a temperaturas tan altas, los equipos de limpieza de los efluentes gaseosos no funcionan satisfactoriamente. La experiencia dice que para una combustión óptima, las cargas a las parrillas se determinan en base a un desprendimiento de calor del material en combustión de 8.2×10^8 cal/hr.m², - mientras que el volumen (del horno) necesario para la combustión se calcula con un valor de 1.2×10^8 cal/hr.m³ (38).

La cámara de combustión se considera como una cámara secundaria donde se lleva a cabo una combustión más completa de las partículas y gases volátiles que salen del horno. La efectividad de su funcionamiento depende de la operación y diseño de la planta incineradora. Cuando el volumen del horno es suficiente, los gases producidos tienen el tiempo de retención necesario para que se realice en el --horno la mayor parte de la combustión, siempre y cuando se introduzcan cantidades adecuadas de aire en los sitios convenientes para asegurar una buena mezcla de los productos gaseosos; en este caso la --función principal de la cámara secundaria consistirá en sedimentar -- las partículas grandes de las cenizas volátiles, además de completar la combustión de gases y partículas incandescentes. Por otro lado, si el volumen del horno no es suficientemente grande y/o no se le suministra adecuadamente el aire necesario, la mayor parte de la combustión ocurrirá en la cámara de combustión, siempre y cuando exista en ésta un suministro adecuado de aire. Con el propósito de aumentar el grado de mezclado de los gases y la sedimentación de partículas, se emplean todo tipo de aditamentos que ocasionen una trayectoria sinuosa de los gases. Las velocidades de los gases en esta sección se deben encontrar entre 3 y 12 metros por segundo.

La cámara de asentamiento tiene como función primordial el --completar el asentamiento de partículas, pero incidentalmente también sirve para completar la combustión y enfriar los gases de salida. El enfriamiento del efluente gaseoso se realiza por medio de un sistema de extracción de calor y tiene como fin aumentar la eficien-

cia del sistema de limpieza de gases.

Los sistemas de limpieza más usados son los colectores húmedos y los precipitadores electrostáticos. Cualquiera de los sistemas empleados, necesita que los gases posean una temperatura baja para poder funcionar con eficiencia.

El aire necesario para la combustión se divide en primario que se introduce por debajo de las parrillas y secundario que se introduce por sobre el fuego.

Bajo otros factores constantes y dentro de límites razonables, el flujo de aire primario a través del lecho de combustible en las parrillas determina la velocidad de combustión. Es muy importante el suministro del aire de combustión a la presión correcta para mantener las velocidades de combustión, especialmente cuando se alimenta basura mojada, ya que el flujo de aire se dificulta por la compactación de los sólidos. Un buen suministro de aire causa el esparcimiento del material por toda la parrilla teniéndose una combustión uniforme. En el caso de las parrillas móviles el suministro de aire está compartamentalizado.

La función principal del aire secundario consiste en proporcionar la turbulencia y oxígeno necesarios, para obtener una combustión completa de los gases, vapores y partículas que abandonan las parrillas del horno. Otra función muy importante del aire secundario es el control de la temperatura del horno, esto lo logra mezclándose con los gases provenientes de las parrillas, y al bajarles

su temperatura, protege del calor intenso a las partes refractarias del horno, esto es lo que hace necesario el gran exceso de aire a suministrar. La mayoría de los incineradores requieren -- de un 200 % de aire en exceso, la mayor parte del cual es suministrado como aire secundario. La cantidad de aire a suministrar está en una relación de 8 a 1 en peso, respecto a la basura municipal alimentada.

Existen dos caminos para la generación de energía como producto de la combustión de la basura. Uno es un método típico de producción de vapor, en el otro se produce energía eléctrica por medio de turbinas de gas, movidas por la totalidad o parte de los gases de combustión (40, 41). También es posible obtener electricidad con turbinas movidas por el vapor producido por la incineración (42).

Los diseños para la producción de vapor son principalmente de dos tipos (4). En uno se coloca el sistema de extracción de calor (caldera) a continuación del horno refractario de un incinerador convencional. En el segundo método se colocan los tubos para la extracción de calor dentro de las paredes del horno, circulándose agua por los tubos. En la práctica se aplican ambos métodos combinados (43, 44, 45, 46, 47).

La combinación horno-caldera es más simple y barata en su construcción necesita de un exceso de aire de 150 a 200%, con el fin de prevenir el deterioro del recubrimiento refractario causado por una temperatura de operación excesiva. El segundo sistema

posee una mayor eficiencia en la transferencia de calor, por lo que el exceso de aire necesario es del 50 al 100 %, reduciéndose así el costo del sistema de limpieza de gases y los costos de operación en lo referente al manejo y limpieza del efluente gaseoso.

En ninguno de los dos sistemas existe la necesidad de un enfriamiento especial del efluente gaseoso para la protección del equipo (1). Por el contrario, en ambos sistemas de producción de vapor existe la posibilidad de usar un combustible auxiliar, con el fin de asegurar una producción constante de vapor sin que influyan las variaciones de la composición, del contenido de humedad y de otros factores que afectan el valor calorífico de la basura. Con este fin, en Europa se usa carbón pulverizado, siendo también posible el uso de combustibles líquidos o gaseosos (48).

La incineración con producción de vapor es de práctica frecuente en Europa. En Munich, Alemania, se encuentra el mayor sistema de incineración con generación de energía; se cuenta ahí con dos plantas de 600 MW que queman una mezcla de basura y carbón, produciendo la basura el 40 % de la energía total, en una tercera planta de 112 MW el 20 % de la energía producida se obtiene de la basura. La causa del valor pequeño de la relación basura-carbón en la producción de energía, es el bajo valor del contenido calorífico de la basura de Munich de 1400 cal/g., que es un valor mital normal de 2780 cal/g., (1). Por lo que en este caso un factor limitante en la operación, es la masa de desechos alimentados en términos de toneladas por día (49).

Otra forma de generación de energía es por medio de turbinas propulsadas por los gases calientes producto de la combustión (50, 51). Las partes principales del sistema es un compresor, una cámara de combustión, un sistema de separación de partículas y la turbina accionada por los gases de combustión, el gas todavía caliente se pasa por un intercambiador para producir vapor que a su vez producirá electricidad. El sistema se encuentra a altas presiones (7-12 atmósferas). La turbina de gas genera suficiente energía para mantener el proceso, pero no obstante se pueden ver varios puntos donde hay problemas potencialmente importantes. Uno de estos problemas es la operación de colectores electrostáticos a 800°C que seguramente resultaría muy problemática (1). Debido a que actualmente es imposible que la producción de cenizas llegue a cero, se puede asegurar que los costos de mantenimiento por la erosión de las hojas de la turbina serán considerables. Deben también tomarse medidas contra las posibles fugas de aire del sistema, ya que con una fuga mínima se perdería casi toda la capacidad del sistema.

Comúnmente la elección de un sistema de incineración es determinado por la dificultad de realizar un relleno sanitario, el cual es un método más barato y más fácilmente de realizar técnicamente hablando. No obstante, este tipo de incineración presenta varias ventajas, entre las que se pueden mencionar las siguientes: (52)

1. La reducción de volumen obtenida oscila entre 50 y 80 %, con lo que el producto de la incineración representa una cantidad menor de material que se necesite disponer por medio de un relleno

no sanitario.

2. Un diseño adecuado permite que la operación se ajuste a variaciones estacionales o diarias en la composición o el volumen de la basura producida por la comunidad.
3. Existen ya los dispositivos lo suficientemente eficaces como para reducir las emisiones indeseables del incinerador a los límites establecidos.
4. Los costos de operación se pueden abatir significativamente al aprovechar la energía desprendida en el proceso de combustión y con el uso de los residuos del incinerador.
5. La operación no es afectada en grado alguno por las variaciones del clima.
6. Las plantas incineradoras pueden localizarse en sitios clave, -- disminuyendo así los costos de transportación de las basuras municipales.

Las desventajas principales de este método son las siguientes:

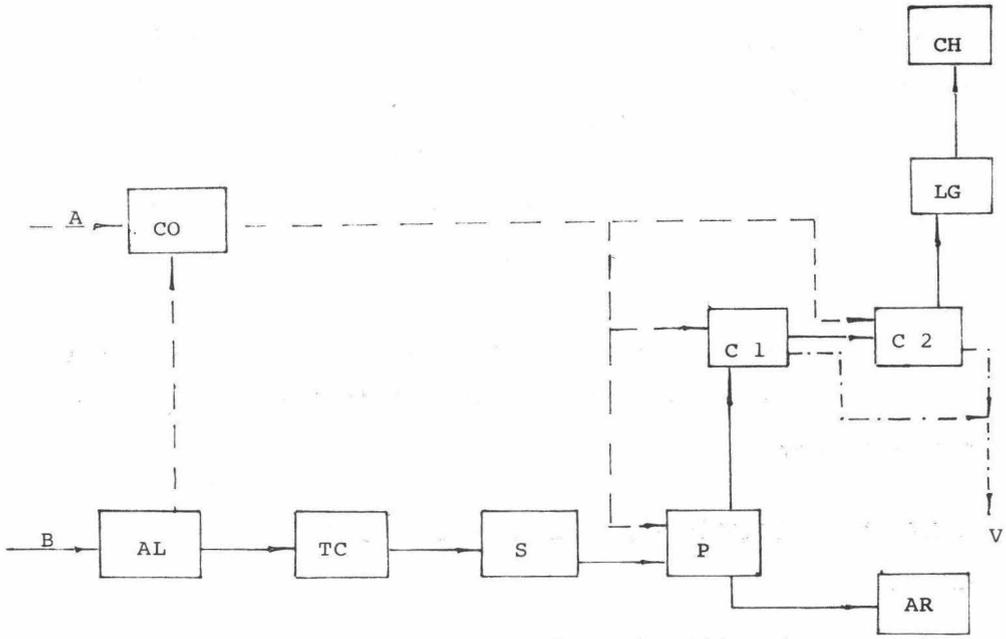
1. El capital inicial necesario, es grande.
2. Los compuestos que tienen nitrógeno y/o azufre por la combustión producen los óxidos correspondientes, los cuales son gases contaminantes. También puede haber entre las emisiones gaseosas hidrocarburos clorados, que además de ser sumamente contaminantes corroen la estructura interna del incinerador. Sin embargo, este tipo de problemas se puede presentar más frecuentemente con basuras industriales que con basuras urbanas.

3. Los costos del equipo de control de emisiones contaminantes son muy altos.
4. Los costos de mantenimiento son altos, teniéndose frecuentes -- suspensiones en la operación causadas por el mantenimiento debido a la operación con temperaturas excesivas y la presencia de gases corrosivos.
5. La combustión es generalmente incompleta, debido al gran exceso de aire necesario para completarla.

La suma de los costos anteriormente mencionados hacen que el costo de disposición por tonelada de basura sea elevado, mucho mayor que para la mayoría de los métodos que se pueden emplear.

En Europa este es un método ampliamente usado, principalmente en Alemania, Francia, Inglaterra, Holanda e Italia. En los Estados Unidos se encuentran en operación alrededor de 300 incineradores municipales de muy diferentes capacidades, la mayoría de los -- cuales trabajan de una manera deficiente, por lo que este método es poco aceptado.

El mayor problema presente en un proceso de incineración es la presencia de contaminantes en las emisiones gaseosas (53), no -- obstante se tienen estudios que aseguran todo lo contrario. En --- 1969 se hizo un estudio en los Estados Unidos sobre la operación de incineradores municipales, se registró que las emisiones gaseosas -- constan en un 99% de bióxido de carbono, oxígeno, nitrógeno y vapor de agua. Dentro de los contaminantes presentes, se encontraron los siguientes, reportados como kilogramos producidos por cada tonelada



- A aire
 B basura municipal
 AL almacenamiento
 CO sistema de compresoras
 TC tolva de descarga al horno

ELEMENTOS ESTRUCTURALMENTE UNIDOS

- S secado
 P parrillas
 C 1 cámara primaria
 C 2 cámara secundaria
 LG sistema de limpieza de los efluentes gaseosos
 CH chimenea
 AR almacén de residuos
 V vapor

Fig I-2 Diagrama de flujo para la incineración de basuras municipales en hornos convencionales.

de basura incinerada (54).

Emisiones Gaseosas:	Aldehidos	1.07x10 ⁻⁴
	Oxidos de azufre	-----
	Hidrocarburos (expresados como metano)	3.62x10 ⁻¹
	Acidos Orgánicos	-----
	Monóxido de carbono	2.3x10 ⁻¹
	Oxido de nitrógeno	1.22
	Amoniaco	-----

De lo anterior se desprende que estas emisiones no infrin-
gían los reglamentos existentes en los Estados Unidos para conta-
minantes gaseosos.

Incineración Conjunta de Basuras Sólidas y Lodos de Aguas Negras

Existen varias tecnologías para llevar a cabo este tipo de
incineración. Una de ellas implica el uso de un horno de parri-
llas muy parecido al usado en los incineradores convencionales an-
teriormente descritos; la única diferencia estriba en que las par-
rrillas donde son alimentados los lodos, se encuentran en la parte
superior de la cámara de combustión primaria, situados en el cami-
no por donde salen del horno los gases de combustión producidos en
la parrilla inferior. De esta manera, los gases de combustión lo-
gran el secado y la ignición de los lodos en la parrilla superior,
los lodos posteriormente caen a la parrilla inferior completando -
su combustión con las basuras sólidas que se alimentan directamen-
te a dicha parrilla (55). Existe también la posibilidad de alimen-
tar a una sola parrilla la mezcla de basuras y lodos (56).

Otra tecnología empleada en la incineración conjunta de re

siduos sólidos y lodos de aguas negras, hace uso de un horno de --
vórtice (un horno cilíndrico con fuego tangencial). Se alimenta -
una mezcla de basura molida y lodos de aguas negras junto con gas
o aceite combustible y el aire primario de combustión, todo esto -
junto y por medio de un tunel de ignición colocado tangencialmente
al horno. El encendido tangencial crea un vórtice de gas caliente
de combustión y de aire primario que tienden a ascender a través -
del horno cilíndrico de combustión. En partes más altas del horno
cilíndrico se introduce por conductos tangenciales, aire secunda--
rio precalentado a altas velocidades, con lo que logra mantenerse--
el vórtice de los gases que van ascendiendo a lo largo del horno -
(57). Con este sistema se reducen los tiempos de residencia nece--
sarios y el exceso de aire usualmente necesitado en la incinera---
ción convencional, reduciéndose así apreciablemente las emisiones
de contaminantes; y dado que la liberación de calor es muy alta la
generación de vapor resulta más económica. Pero por las mismas ca
racterísticas de operación, los problemas con las partes refracta--
rias pueden ser mayores.

Por último, existe un tercer proceso para realizar este --
tratamiento, es el denominado de oxidación húmeda, aquí a diferen--
cia de la incineración no se tiene una flama y la temperatura de -
operación es baja; este es un método muy usado en los Estados Uni--
dos para el tratamiento de los lodos de aguas negras. Este método
se basa en que cualquier substancia combustible puede ser oxidada
en presencia de agua a temperaturas entre 150 y 400°C y presiones

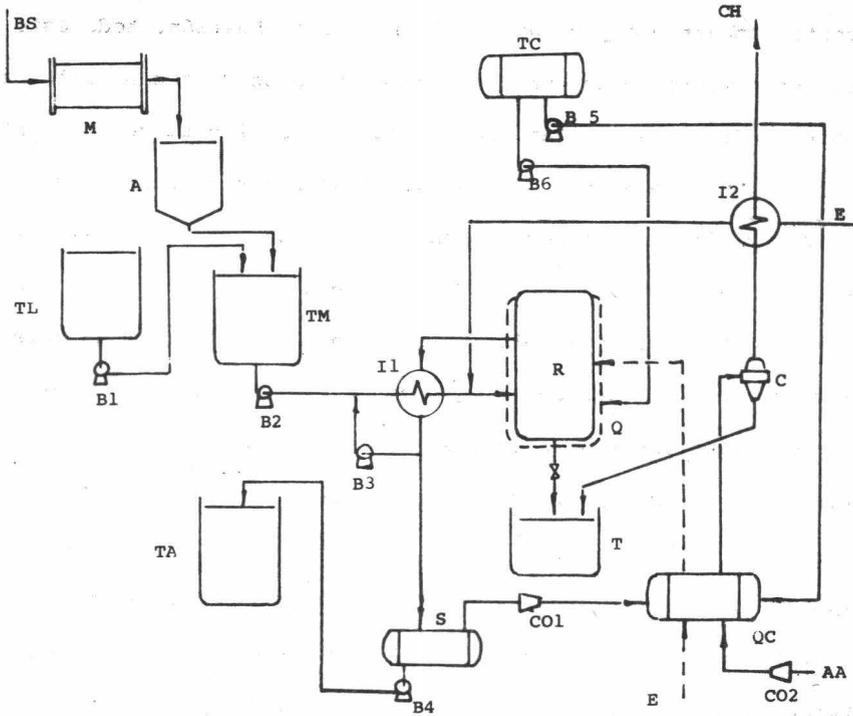


Fig 1-3 Diagrama de flujo para el procesamiento de basuras orgánicas por medio de oxidación húmeda.

ACOTACIONES

M	molino
A	tolva de almacenamiento y de alimentación de basura molida
TL	tanque de almacenamiento de lodos de aguas negras
TM	tanque de mezclado
B	bomba
I	Intercambiadores
R	reactor con calentamiento directo
S	separador
TA	tanque de almacenamiento de líquidos
CO	compresor
QC	caldera
C	ciclón
T	tanque de almacenamiento de lodos producidos en el proceso.
Q	quemadores
TC	tanque de almacenamiento de combustibles
BS	basura ya seleccionada
CH	chimenea
E	agua
AA	aire ambiente

entre 10 y 200 atmósferas (58). Ya en operación, los valores de la temperatura y la presión se fijan entre 150 a 200°C para la temperatura y de 42 atmósferas para la presión, dependiendo ambas variables tanto del tamaño de la planta como del tiempo de reacción y de la concentración del material oxidable. A causa de la presencia de agua no se producen emisiones de partículas y por otro lado, dado que las temperaturas de operación son bastante bajas, no es posible la formación de óxidos de azufre o nitrógeno (gases altamente contaminantes). Los principales productos son bióxido y monóxido de carbono, una mezcla de ácidos orgánicos y lodos. El proceso consiste en el bombeo de una suspensión de basura molida, lodos de aguas negras, agua y aire a el reactor, pasando previamente por un intercambiador por donde pasan a contracorriente los productos de oxidación que salen del reactor. Posteriormente, los productos de reacción son separados y los gases producidos son pasados por un quemador para prevenir los malos olores.

Incineración en Lecho Fluidizado

Este es un sistema muy usado en Europa para la incineración de sólidos combustibles; en los Estados Unidos se le utiliza principalmente en la incineración de los lodos producto del tratamiento de las aguas negras (59), y aunque no tan ampliamente, también se le emplea para la incineración de basuras de refinerías y de desechos nucleares. Solo hasta últimas fechas se ha puesto atención en este método para la incineración de los dese-

chos urbanos (60, 61, 62).

Como su nombre lo dice la combustión se realiza en un reactor de lecho fluidizado, el lecho está constituido por partículas de arena que actúan como agentes transmisores de calor, y por esto mismo se tiene limitado su rango de operación (63). La temperatura del lecho debe mantenerse inferior a 1100°C para no aproximarse al punto de ablandamiento del mismo. El flujo gaseoso se debe mantener entre la velocidad terminal de fluidización del lecho y la velocidad mínima de fluidización (64); estas velocidades y la transferencia de calor a las superficies de enfriamiento son función -- del tamaño de partícula y de la velocidad de elutriación de los sólidos combustibles del lecho.

El material combustible debe reducirse de tamaño lo más -- uniformemente posible para lograr una combustión óptima. Ya en -- operación, la agitación del lecho debe ser violenta para conseguir que las partículas grandes, se mantengan suspendidas el tiempo suficiente en el lecho para ser quemadas; con ello también se tiende a mantener una temperatura constante en el lecho, ya que las partículas actúan como un tanque de reserva de calor que se encuentra en movimiento continuo por todo el lecho (57). El coeficiente de transferencia de calor entre las partículas de arena y las de basura es de un orden de magnitud mayor que el correspondiente a la -- transferencia de calor entre el gas y las partículas de basura (57).

En el lecho de combustión, las partículas recién llegadas -- reciben radiación del mismo, siendo la transferencia de calor muy

rápida por lo que la partícula alcanza fácilmente su temperatura de ignición. Después de iniciada la combustión el calor producido es transferido rápidamente al lecho de combustión, a causa del movimiento violento del gas y de las partículas; lo anterior facilita también un contacto excelente entre la partícula en combustión y el oxígeno del aire, con lo que el exceso de aire necesario disminuye drásticamente respecto a otros métodos de incineración.

Lo anteriormente mencionado nos lleva a una reducción substancial en el tamaño y costo del equipo de manejo y limpieza de efluentes gaseosos. Con respecto a la limpieza de los gases, contribuye de una manera positiva el que los productos de destilación de la basura, sean consumidos en el mismo lecho antes de que puedan abandonarlo, disminuyendo entonces la cantidad de hidrocarburos no quemados que se encuentran en los gases de salida.

Se tienen varios factores que contribuyen a que este sistema posea una inversión baja. Uno muy importante es la temperatura de operación que se mantiene relativamente baja y con muy pocas fluctuaciones, por lo que los materiales de construcción son más baratos. Otro factor importante en la economía del proceso es el alto valor del desprendimiento de calor por unidad de volumen y tiempo que nos llevan a un diseño compacto.

Un horno de lecho fluidizado operando a una temperatura constante de 760°C, puede ceder entre 50 a 80% de la energía desprendida en el lecho para producir vapor. La producción de vapor es realmente una necesidad económica, ya que con ello se reduce aún más el

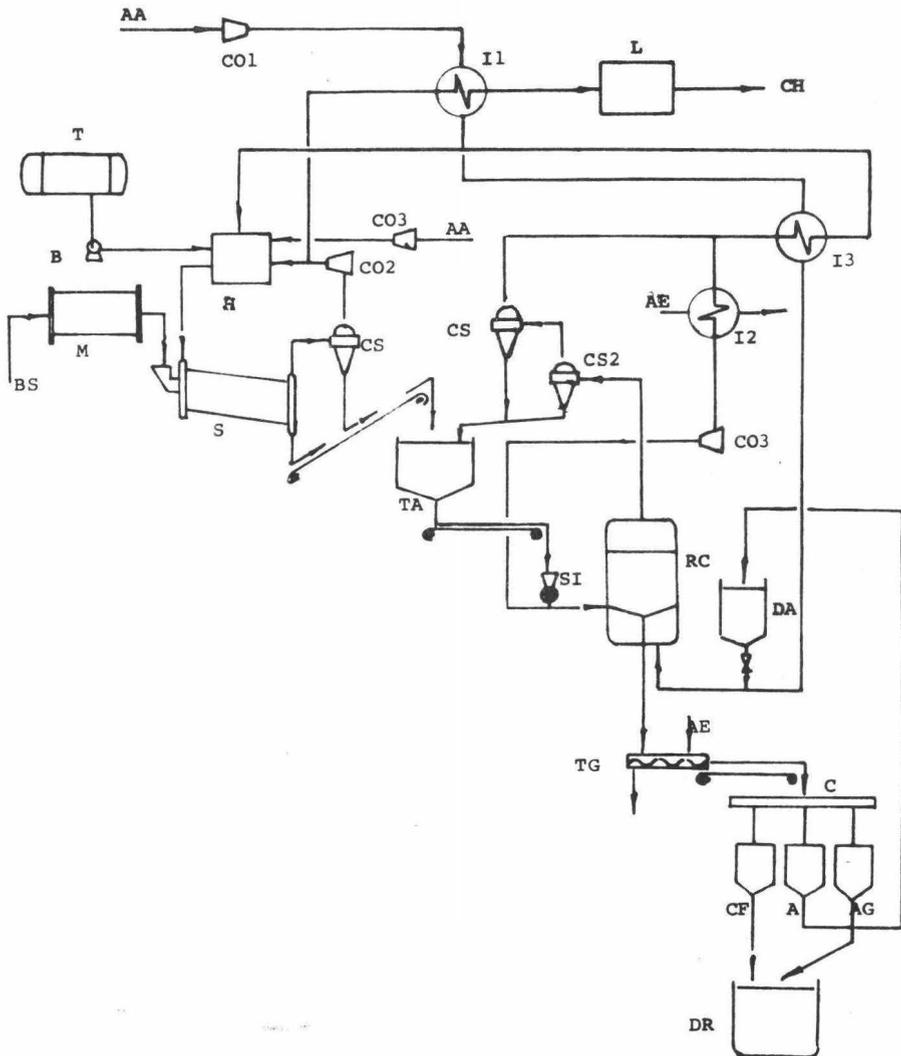


Fig I-4 Diagrama de flujo para la incineración de basuras urbanas en reactor de lecho fluidizado.

ACOTACIONES

M molino

S secador

CO compresora

T tanque de combustible

H horno y cámara de mezclado

CS ciclón

TA tolva de almacenamiento y alimentación

SI sistema de alimentación de basura al reactor de combustión

RC reactor de combustión

DA depósito de arena

TG transportador de gusano con enfriamiento a contracorriente

C cribado

CF cenizas finas

A arena

AG aglomerados

DR depósito de residuos

I intercambiador

L equipo de limpieza de los efluentes gaseosos

AA aire ambiente

BS basura ya seleccionada

AE agua de enfriamiento

CH chimenea

equipo de manejo de gases, dado que no se necesita de un exceso de aire para mantener el lecho a la temperatura de operación que disminuye las restricciones en cuanto a los materiales de construcción, aumenta la velocidad volumétrica de desprendimiento de calor y aumenta la eficiencia de los equipos de limpieza de los efluentes gaseosos.

Dependiendo del valor calorífico de la basura a procesar (que a su vez está principalmente en función del contenido de humedad y composición de la basura), se puede precisar el empleo de combustible auxiliar; con este fin se pueden mezclar desechos de carbón con la basura, o bien la inyección de aceite combustible al lecho.

Utilización de los Residuos de Incineradores

En este terreno, la experiencia práctica es nula a excepción de una planta incineradora en la ciudad de Berlín (1), por esto la mayor parte de la discusión, se basa de la utilización de los residuos producidos en hornos donde se quema carbón, con el fin de generar energía eléctrica.

El principal factor que ha ocasionado que la reutilización de las cenizas de incineración sea limitada, es la variación tan amplia en sus propiedades. Los tamaños promedio de las cenizas oscilan entre 1 a 80 micras, presentándose también una amplia gama de formas, de densidades, de colores y propiedades químicas de las partículas. La composición química promedio de las cenizas de incineración, es:

Constituyente	% en peso
Silica (SiO_2)	34 - 49
Alumina (Al_2O_3)	17 - 31
Oxido férrico (Fe_2O_3)	6 - 26
Oxido de calcio (CaO)	1 - 10
Oxido de Magnesio (MgO)	0.5 - 2
Trióxido de Azufre (SO_3)	0.2 - 4
Material no quemado	1.5 - 2

El uso más extendido de estas cenizas ha sido como aditivo en el concreto. Al mezclarlas con el concreto, las cenizas dos propósitos principales; uno es como relleno para balancear la distribución de tamaño de partículas en el agregado, el otro consiste en que reacciona químicamente con la cal formándose un material adhesivo que reforza al concreto. Todavía no han sido bien estudiados los mecanismos por los cuales la ceniza altera las propiedades del concreto, por esto además de otros factores de tipo económico no se ha extendido esta aplicación de las cenizas. Es también factible el uso de las cenizas de incineración mezclándolas con cal para la estabilización de los suelos en la construcción de caminos, áreas de estacionamiento y pistas de aeropuertos; pero como las características y propiedades de los suelos varían ampliamente, es siempre necesario efectuar pruebas para la selección del agente estabilizador.

Ultimos estudios, indican que las cenizas pueden ser un -

absorbente efectivo para la extracción de contaminantes orgánicos en las plantas de tratamiento de agua (65). Una aplicación similar y a mayor escala se tiene en el tratamiento de aguas negras - (66).

COMPOSTA (1) (6) (33) (67) (68)

La composta es un material parecido al humus que resulta de la estabilización o digestión biológica y aeróbica de las substancias biodegradables en la basura.

Las principales características de la composta son las de un acondicionador de suelos. Los terrenos agrícolas van perdiendo la materia orgánica y por consiguiente la flora bacteriana que es la que transforma las sustancias que sirven de alimento a las plantas. Entonces las funciones que tiene la composta son:

1. La de activador de la flora bacteriana ya que por estar hecho a base de materia orgánica restituye al terreno sus condiciones naturales.
2. Es un suplemento y no un sustituto de los fertilizantes minerales; ya que ayuda a asimilar mejor los fertilizantes químicos y desmineraliza aquellos terrenos que sufrieron una excesiva aplicación de dichos fertilizantes.
3. Mejora la estructura del suelo, pues:
 - a) aerea los terrenos pesados y compactos
 - b) da mayor cohesión a los ligeros

- c) aumenta la capacidad del subsuelo para retener la humedad evitando así la erosión.
- d) reduce la filtración del nitrógeno soluble
- e) aumenta la capacidad amortiguadora del suelo.

Para la compostación de la basura, existen básicamente -- dos sistemas de digestión. El primero es por medio de una digestión con ayuda mecánica en el que la alimentación de la basura se retiene en un tanque digestor por cinco días. Durante este período, la basura se agita y se le inyecta aire entre 65 C y 70 C para mantener condiciones aeróbicas y temperatura constantes. Existen en funcionamiento varios métodos de digestión mecánica (6).

El otro sistema de digestión propone apilar la composta a la intemperie durante varias semanas en largas hileras de 1m a 1.5 m de ancho por 0.5 a 1 m de alto. En este tiempo se le debe revolver dos o tres veces por semana. Después de esta digestión, la composta es curada por dos o tres semanas más. Este período de curado sirve para que los carbohidratos se acaben de oxidar ya que de no conseguirlo totalmente, se inhibiría el crecimiento de las plantas.

Para una planta de composta se propone el siguiente diagrama de flujo:

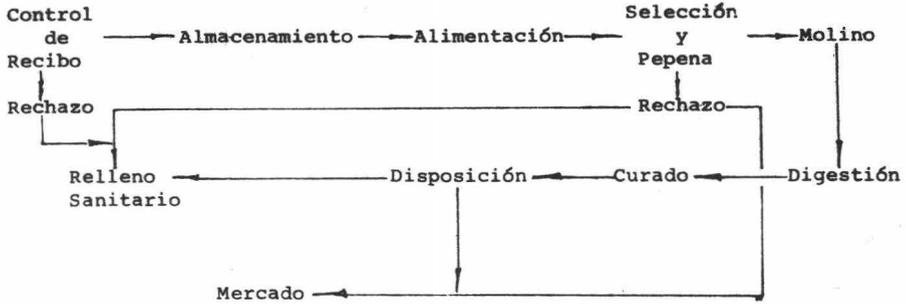


FIGURA I - 5

La operación y proceso de compostación de basuras por acción de microorganismos se resume básicamente en el control adecuado de los sistemas biológicos y ambientales.

Los microorganismos (6) en los que estamos interesados para el estudio de la compostación son las bacterias, actinomicetos y hongos (69). Todos ellos se encuentran en el suelo y son responsables por la descomposición de la composta. Las diferentes bacterias necesitan de muchas condiciones para su crecimiento; incluye esto un pH apropiado, una fuente alimenticia, oxígeno, -- una cierta presión osmótica, humedad y temperatura. Los actinomicetos también están presentes, pero son parecidos a las bacterias. Todos los organismos que están presentes en la composta, difieren en algunas características que les permiten estar en unas etapas de compostación y no en otras. Por ejemplo unos organismos son --

aeróbicos, otros anaeróbicos y otros facultativos. Con respecto a la temperatura pueden ser termofílicos, mesofílicos o psicofílicos. También pueden ser autótrofos y heterótrofos y de estos últimos, - puede haber parásitos y saprófitos. Otra clasificación se hace -- con respecto a la acidez del medio en que vive; acidofílicos y al-kaliofílicos. En este último caso, los acidofílicos ocurren en las etapas iniciales de la compostación debido a la incapacidad de los organismos para oxidar ácidos grasos.

Para poder ver con claridad como trabajan estos microorganismos y en que etapas se desarrollan es conveniente ver las necesidades básicas de nutrición y algunas reacciones químicas en la - célula.

Para toda célula es necesario tener una fuente de carbón - como energía. La mayor fuente en la basura son los carbohidratos que inicialmente están en forma de almidón y celulosa en papel y - desechos de alimentos (9).

La celulosa es hidrolizada a un disacárido, la celubiosa - que es transportada a la célula partida y fosforilada a glucosa. - Los almidones, disacáridos también, son igualmente reducidos a glucosa. En estos procesos de rompimiento de carbohidratos hay varios ciclos, en los que ocurren reacciones redox cuya energía se transfiere a moléculas de ADP. Una vez obtenida la glucosa, ésta pasa a glucosa-6-fosfato, y siguiendo una glicólisis llega a piruvato.

En condiciones anaeróbicas, los organismos no metabolizan la glucosa completamente. En este proceso sólo se forman dos moléculas de ATP de alta energía y 21,000 cal.

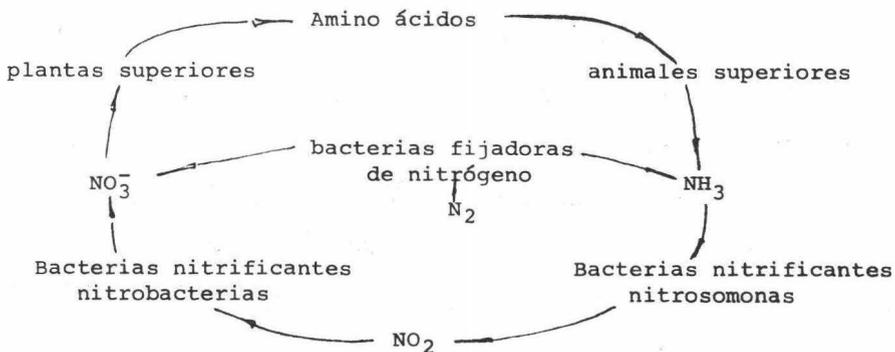
Con lo anterior se ve que la composta se debe obtener en condiciones aeróbicas puesto que el calor que se desprende ayuda a matar organismos patógenos.

El nitrógeno es otro nutriente esencial que los microorganismos necesitan para sobrevivir. Entra a formar parte de proteínas, enzimas y ácidos nucleicos.

Los microorganismos a diferencia del hombre, pueden construir aminoácidos de fuentes simples de carbón como dióxido de carbono, glucosa y sustancias inorgánicas que contengan nitrógeno, hidrógeno, azufre y fósforo. Por esto, estos organismos juegan un papel importante en el ciclo del nitrógeno.

Las plantas toman el nitrógeno del suelo y del agua en forma de nitratos producidos por las bacterias nitrificantes a partir del amoníaco producto de la descomposición orgánica llevada a cabo por otros organismos (9).

CICLO DEL NITROGENO



Las bacterias contienen una cantidad de lípidos que sirven para formar sustancias subcelulares tales como paredes celulares y membranas citoplásmicas o la reserva alimenticia. Esos lípidos se hidrolizan a fosfolípidos o grasas neutras, que están formadas principalmente por ácidos grasos y gliceros. Estos últimos entran al ciclo del ácido cítrico para dar energía.

Teniendo estas bases podemos apreciar como es afectada la composta por el tipo de materia que compone la basura de la que proviene y el tipo de proceso a que se somete.

Dentro de las variables que deben considerarse en la basura para una planta de compostación, la más importantes son: (6)

a. La relación C/N

Este es el contenido relativo de carbón a nitrógeno y es función directa del carácter y origen de los desechos mismos. Si la relación es muy alta, o sea la cantidad de carbono es mayor que la de nitrógeno, los microorganismos utilizarán todo el nitrógeno disponible y únicamente la cantidad necesaria de carbono para suministrar energía requerida en el metabolismo del nitrógeno. Esto propiciará un metabolismo lento del material procesado ya que se necesitan mayor número de ciclos biológicos para consumir el C disponible; primero en los materiales putrescibles y luego convirtiéndolos a dióxido de carbono hasta lograr que la relación C/N alcance un nivel adecuado para lograr la estabilización de la masa total de desechos.

Si la composta no está suficientemente estabilizada o curada, hará que el nitrógeno disponible en el suelo sea utilizado por la -

misma composta en su estabilización final perjudicando al suelo en lugar de ayudarlo.

Si la relación es baja, la descomposición biológica es muy rápida en un principio, hasta que los microorganismos utilizan --- gran parte del carbono disponible. En este caso, gran parte del - nitrógeno se pierde en forma de amoníaco debido a la deficiencia - de carbono. También puede suceder que los organismos del suelo y las plantas al tratar de usar el nitrógeno disponible de la composta, usen las fuentes de carbono disponibles rápidamente y que por - lo tanto reduzcan la cantidad de carbono como fuente de energía para los procesos biológicos del suelo.

Con lo anterior vemos que la composta es una masa viviente cuya aplicación al suelo no provoca competencia entre los microorganismos y las plantas superiores en cuanto a sus nutrientes comunes. Cuando la digestión ha sido aeróbica, la composta contiene humus, - residuos orgánicos en proceso y los productos finales de la actividad metabólica de los microorganismos tales como hormonas, vitam--inas y enzimas con funciones importantes en el suelo.

TABLA I-3. RELACION C/N PARA COMPOSTACION DE BASURA

fase	C/N recomendable	C/N aceptable	C/N mala
basura	25 a 40	35 a 60	mayor de 60*
composta	10 a 20	20	mayor de 20**

(*) añadir fuente de nitrógeno con lodos crudos de tratamiento de -

aguas negras, estiércoles animales, restos de pescado u otros desechos orgánicos con alto contenido de material proteínico.

- (**) añadir fuente de carbón como papel, paja o tierra o --- aumentar el tiempo de retención. Si 20 C/N 35 pero hay material celulósico, la composta es aceptable.
-

En resumen, la relación C/N nos dá un índice para el control de calidad del producto terminado cuando el carbón contenido se encuentra en tal forma que pueda ser utilizado eficientemente por los organismos del suelo o cuando el período de descomposición activa de los desechos no haya terminado.

b. Tamaño de las partículas

Debido a la heterogeneidad del tamaño de la basura es difícil manejarla tal como se encuentra, por lo que se necesita triturarlas para eliminar esos problemas. Esta operación se realiza después de la separación para hacerla más costea-ble y para que al reducir el tamaño de la basura se facilite su --homogeneización, incrementando efectivamente la superficie disponible para la acción microbiológica, distribuye el contenido líquido y reduce el volumen del material procesado.

El tamaño del material triturado debe ser estudiado para estar de acuerdo al tipo de proceso usado. En todos casos, las condiciones locales, experiencia y muchas otras variables--

serán las que dictarán la selección del tipo y grado de molienda.

c. Humedad y contenido líquido

La humedad es un factor limitante para la compostificación de basura, debido a que los líquidos presentes pueden llegar a reducir la porosidad de la masa en compostificación e interferir así con la difusión de aire reduciendo la cantidad de oxígeno para la actividad biológica. Sucede también que al haber cenizas y minerales se disminuye la capacidad de la masa para retener humedad y otros líquidos, causando la pérdida de nutrientes para los organismos y retardando la estabilización de las basuras.

La basura con alto contenido de restos de comida y material vegetal tiene gran cantidad de lípidos líquidos a temperatura normal de descomposición. Si existen condiciones de humedad excesiva, esta grasa puede ser flotada o lavada por el agua presente.

Es recomendable que esté entre 55% y 70% de humedad relativa para operaciones con agitación mecánica continua o semicontinua y entre 40% y 60% para operaciones de hileras. (Para basuras con gran cantidad de material putrescible, 60% de humedad es mucho). Es recomendable que la humedad no exceda de 60%.

Para expresar el contenido líquido en la basura se calculará por la fórmula siguiente:

$$\text{Por ciento de líquidos } L = \frac{\text{humedad \%} + \% \text{ Lípidos}}{100 - \% \text{ cenizas}} \times 100$$

cenizas = es el material residual después de la ignición en términos de peso húmedo

% lípidos = determinación con el método de extracción con - ciclohexano en Soxhlet. (Apéndice B).

$$\text{humedad} = \frac{\text{peso i} - \text{peso f}}{\text{peso i}} \times 100$$

Hay que tener en cuenta que la humedad introducida hará variar la temperatura de la masa en compostación y que la aereación puede secarla o enfriarla, por tanto el aire debe ser controlado en temperatura y humedad.

d. Aire y oxígeno disponibles:

La aereación tiene como objeto principal proveer a los organismos aeróbicos con el oxígeno necesario para el metabolismo de los nutrientes y materiales orgánicos en descomposición.

El aire introducido por difusión de aire atmosférico en forma natural o por medios mecánicos o por una combinación. -- Aunque la cantidad necesaria varía de acuerdo con cada proceso y tipo de material, el cálculo de estos requerimientos puede -- aproximarse de acuerdo con la reacción propuesta.



Peso molecular $C_{13}H_{20}O_7 = 288 \frac{g}{mol}$

$O_2 = 32$

aire 23.8

21 % de O_2 en volumen y 23.5 % O_2
en peso

79% de N₂ en volumen 78.5% N₂ peso

CANTIDAD DE AIRE REQUERIDA

de O₂ $14.5 \times 32 = 464.6$ Kg de O₂ por mgl de C₁₃H₂₀O ó 288 Kg de carbohidrato $\frac{464.6}{0.235} = 1970$ Kg de aire y trabajando a una eficiencia de 40%, necesitamos 17.2 Kg de aire por Kg de carbohidrato (basura).

Corrigiendo el volumen que ocupa una mosl de aire a 29 C y i atmósfera, tenemos 24.8l l. La densidad del aire en estas condiciones será de $1.16 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$. La masa del aire requerido y su densidad nos dan el volumen que necesitamos pasar por la masa en compostación, $14.8 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}$ basura

e. Temperatura

La temperatura óptima para procesos aeróbicos en la descomposición de los desechos está entre 60 C y 65 C que es la correspondiente a la que necesitan los organismos termofílicos. - Cuando la temperatura empieza a disminuir después de haber alcanzado la óptima es señal de que o el proceso ha terminado o - existe una interferencia para la actividad saludable a los organismos.

Son recomendables altas temperaturas para propiciar un metabolismo acelerado y eliminar organismos patógenos, pero hay que evitar perder nitrógeno por evaporación en forma de amoníaco o por destrucción de proteínas. Esto sucede si la temperatura está arriba de 70 C a un pH 8.5 y C/N menor a 30.

f. Acidez y alcalinidad

Además de ser un factor limitante para la compostación, es un índice del avance del proceso.

Al recibirse la basura, tiene	5.5	pH	7
en fase de licuefacción	4.5	pH	5.5
al subir la temperatura	8	pH	9
descomposición completa		pH =	7

Para ajustar las condiciones iniciales añadir cal hidratada si el pH es bajo y si es alto, material putrescible como estiércoles. Hay que tener en cuenta que la práctica de ajustar el pH no debe ser generalizada, ya que cada proceso es independiente.

g. Metales pesados

El efecto de metales pesados presentes en lodos digeridos usados como acondicionadores de tierras, como zinc, boro, plomo y cobre, en cantidades de 0.01 ppm como mínimo afectan adversamente el crecimiento de plantas y causan la esterilidad en las tierras, inclusive pueden ocasionar la muerte de organismos que ingieran plantas en ese medio.

PARAMETROS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UNA PLANTA DE COMPOSTA

1. Cantidad de basura generada

a. Capacidad de la planta de composta en función del mercado potencial

- cantidad de composta producida
- cantidad de basura separada para su venta.

2. Area de la planta: de 70 m²/T a 250 m²/T según el tipo de proceso.
3. Precio de la composta.
4. Costo de operación.
5. Capital inicial.
6. Control de calidad

C/N aprox 20

5.5 pH 8

20% H 25 %.

PIROLISIS (70, 71)

La pirólisis se define como el cambio químico debido a la acción del calor. Es un proceso de destilación destructiva llevada a cabo en una atmósfera sin oxígeno, o con muy poco, a altas temperaturas.

A diferencia de la combustión en exceso de aire, que es altamente exotérmica, y que produce bióxido de carbono y calor --- principalmente, la pirólisis, análoga a un proceso de destilación, es endotérmica.

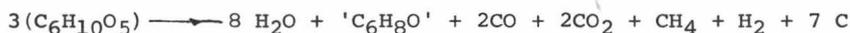
En la pirólisis de desperdicios sólidos municipales, las altas temperaturas y la falta de oxígeno producen el rompimiento químico de materiales orgánicos en tres corrientes que son:

1. Una mezcla gaseosa consistente en hidrógeno, metano, monóxido de carbono y dióxido de carbono.
2. Unos aceites que son líquidos a temperatura ambiente y

que incluyen productos orgánicos como ácido acético, acetona, metanol.

3. Residuos pesados consistentes de carbón casi puro con algunos inertes que logran entrar el proceso, como vidrio, metales y roca.

Se ha sugerido (1) una reacción para la descomposición de la célula, que es el mejor reactivo en la pirólisis de basuras, aunque otros materiales también se pirolisan fácilmente.



en donde $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}$ representa la corriente de productos líquidos. - Los productos son altamente dependientes de la temperatura y de las fracciones relativas de los diferentes materiales orgánicos, lo que sugiere ocurren muchas reacciones paralelas.

Una manera de pirolizar basura es con un lecho fluidizado, y como ya vimos que es un proceso endotérmico, necesitamos - suministrar calor de otra unidad de combustión, que también será fluidizada.

Este sistema, usado en el Departamento de Ingeniería de la Universidad de West Virginia en Estados Unidos (72), usa el - calor desprendido por este segundo reactor, que usa como combustible a los pesados, para suministrárselo al pirolizador de basura. El oxígeno requerido para esta combustión se suministra por aire comprimido. Para prevenir que el nitrógeno del aire diluya los gases de pirólisis bajándoles su poder calorífico, las reacciones se llevan a cabo en reactores diferentes. La transferen-

cia de calor entre los dos reactores se lleva a cabo por medio de un sólido inerte y cada reactor con la misma cantidad del sólido.

La arena fluye del reactor de combustión aproximadamente - 980 C hacia el reactor de pirólisis a 320 y suministra el calor - necesario para la descomposición de la basura.

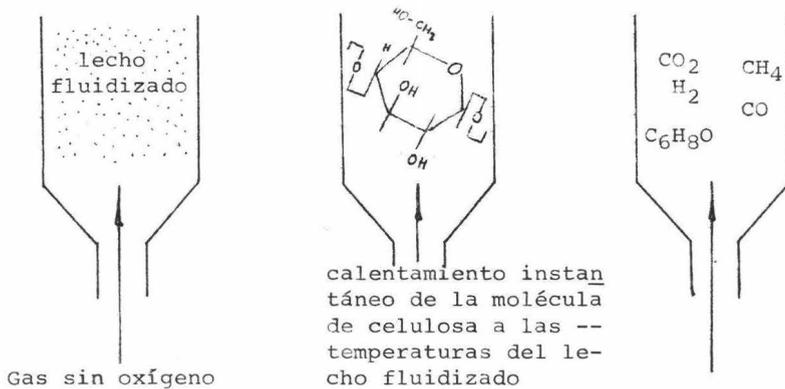


FIGURA I-6. ESQUEMA DE LA PIROLISIS

La alimentación al reactor de pirólisis es la basura, mientras que para la unidad de combustión, es la corriente de pesados formada en la unidad de pirólisis.

A primera vista podemos ver las ventajas que tiene este -- proceso:

1. Solo la fuente de calor se quema con aire, lo que reduce la -- contaminación del aire.
2. Mayor reducción de volumen de basura.
3. Hay una recuperación en potencia de productos químicos.
4. Se producen cantidades significativas de gas combustible de --

interés comercial.

5. Utiliza operaciones unitarias que han sido ya empleadas en la industria.
6. El gas de pirólisis tiene muchas aplicaciones directas como:
 - a) Obtención de metano
 - b) todos los usos del gas natural comercial
7. Los pesados se pueden utilizar para:
 - a) Combustible sólido para el proceso
 - b) Uso para absorber iones metálicos
 - c) purificación de aguas de drenaje.



FIGURA I-7. UTILIZACION DE LOS EFLUENTES PIROLITICOS

8. La pirólisis es un medio para introducir al ciclo de energéticos lo que ya estaba destinado a ser desperdicio.

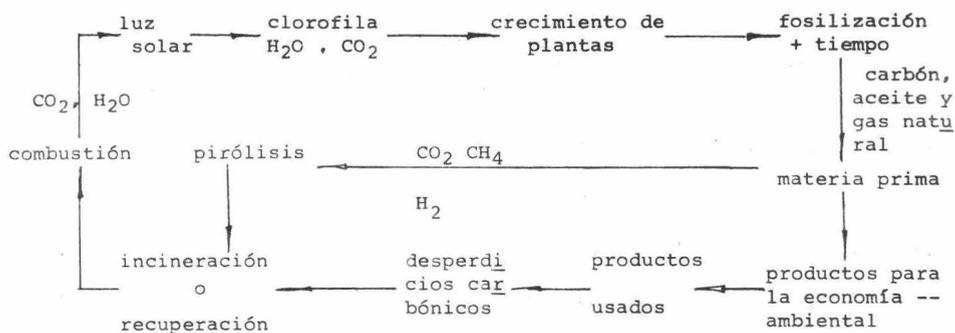


FIGURA I-8. CICLO DE ENERGETICOS

De experimentos realizados (73), se ha visto que la temperatura influye fuertemente en los productos y la cantidad formada lo que sugiere que ocurren varias reacciones paralelas. Ver Tablas I- 4 y siguientes.

TABLA I - 4. Productos de Pirólisis; por ciento en peso del efluente.

T°C	gases	aceites	pesados
480	12.33	61.08	24.71
650	18.64	59.18	21.8
820	23.69	59.67	17.24
930	24.36	58.70	17.67

TABLA I - 5. Composición del gas de pirólisis

	por ciento en volumen y peso							
	480 °C		650 °C		820 °C		930 °C	
H ₂	5.56	0.35	16.58	1.24	28.55	2.53	32.48	3.04
CH ₄	12.43	6.25	15.91	9.6	13.73	9.9	10.45	7.85
CO	33.5	28.3	30.49	32.2	34.12	45.0	35.25	46.2
CO ₂	44.77	62.2	31.78	51.4	20.59	40.7	18.31	39.8
C ₂ H ₄	0.45	0.318	2.18	2.3	2.24	2.8	2.43	03.2
C ₂ H ₆	3.03	3.86	3.06	3.44	0.77	1.03	1.07	1.5

TABLA I - 6. Gas desprendido por Kg de basura

T °C	l	Kcal/l	Kcal/Kg
480	118	2.67	316
650	172.9	3.34	508
820	224	3.05	690
930	211	3.11	660

TABLA I - 7. Análisis de los Pesados; por ciento

	en peso			
Materia volátil	21.81	15.05	8.13	8.30
Carbono fijo	70.48	70.67	79.05	77.23
Ceniza	7.71	14.28	12.82	14.47
Kcal/Kg	6740	6810	6410	6350

Tabla I - 8. Diagrama de Flujo de Masa de los Efluentes para 820°C

PIROLISIS	83.36 % volátiles a 820°C	23.69 % gases	2.58% H ₂	0.737%		
			9.9 CO ₂	11.65		
			45.0 CO	12.8		
			40.7 CH ₄	2.82		
			2.8 C ₂ H ₄	0.8		
			1.03 C ₂ H ₆	0.293		
			<u>102.01%</u>	<u>28.5 %</u>		
			59.67% líquidos de pirólisis	4.65 ac ac	3.32	
				1 metanol	0.715	
				0.7 furfural	.5	
0.55 acetona	0.393					
0.5 ac butí- rico	0.357					
0.5 MEC	0.357*					
91.5 agua	64.4					
<u>100.90%</u>	<u>71.5 %</u>					
17.24% pesa- dos	materia volátil	8.13 %				
	Carbono fijo	79.05				
	ceniza	12.82				
	<u>100.00 %</u>					

(*) MEC - metil etil cetona.

Para un proceso como el de la pirólisis, en el que se quieren obtener tantos subproductos, se hace necesario hacer diversas operaciones.

Secado. La basura municipal puede contener cantidades considerables de agua, y esta humedad puede variar dependiendo de las condiciones climáticas en un lugar particular, las lluvias y el grado de protección durante la recolección y el transporte. Para la pirólisis, el secado es deseable hasta un 7% ya que la cantidad de basura alimentada al sistema se reduce. El secado, efectuado por separado, se realizará fácilmente con el calor sensible de los gases de combustión; pero presenta dos peligros que son:

- degradación o fusión de materiales sensibles al calor, como plásticos, lo que dificultaría la fluidización.
- los gases de salida del secador pueden contener componentes tóxicos o malolientes, así que deben limpiarse antes de mandarse a la atmósfera.

Reducción de tamaño. No es muy conocido el efecto de diferentes tamaños de partícula en pirólisis, pero un tamaño de tres a cinco centímetros de diámetro, es mejor que partícula fina, ya que se economizaría en potencia e inversión fija para este tipo de equipo.

Separación de no combustibles. Es necesario ya que al reducir la alimentación ahorramos energía además del beneficio que nos reporta la venta de algunos de estos productos. (Ver pág.

Reactores. Consisten de una coraza de acero con una malla receptora inclinada hacia el centro. Sobre la malla está el le-

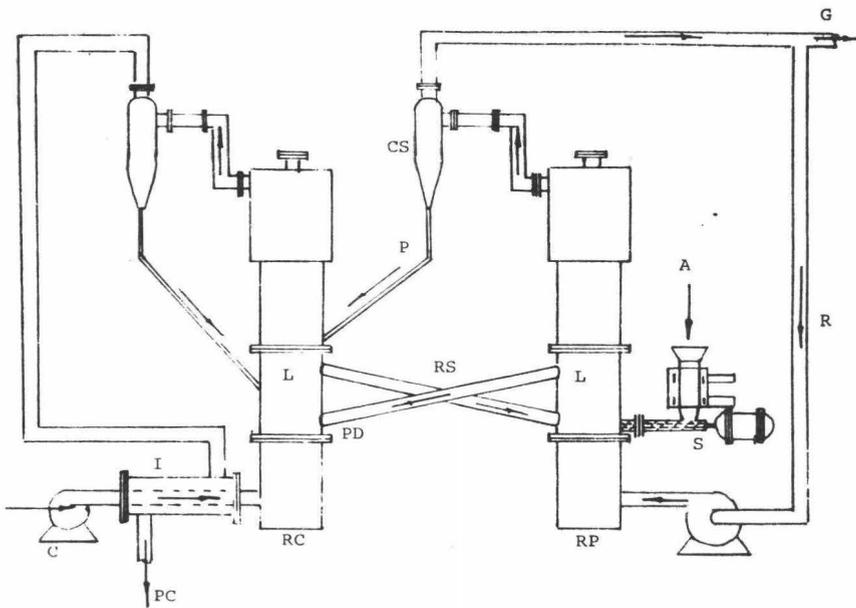


Fig I- 9 Esquema de la unidad de pirólisis

ACOTACIONES

- C compresoras
- I precalentador de aire
- PD platos distribuidores
- L lecho de arena
- RC reactor de combustión
- RP reactor de pirólisis
- CS ciclón
- P recirculación de aceites pesados de pirólisis
- A alimentación de basura ya seleccionada
- S sistema de alimentación de gusano
- G gas de pirólisis producido
- R gas de pirólisis recirculado
- RS recirculación de arena
- PC productos de combustión a la chimenea

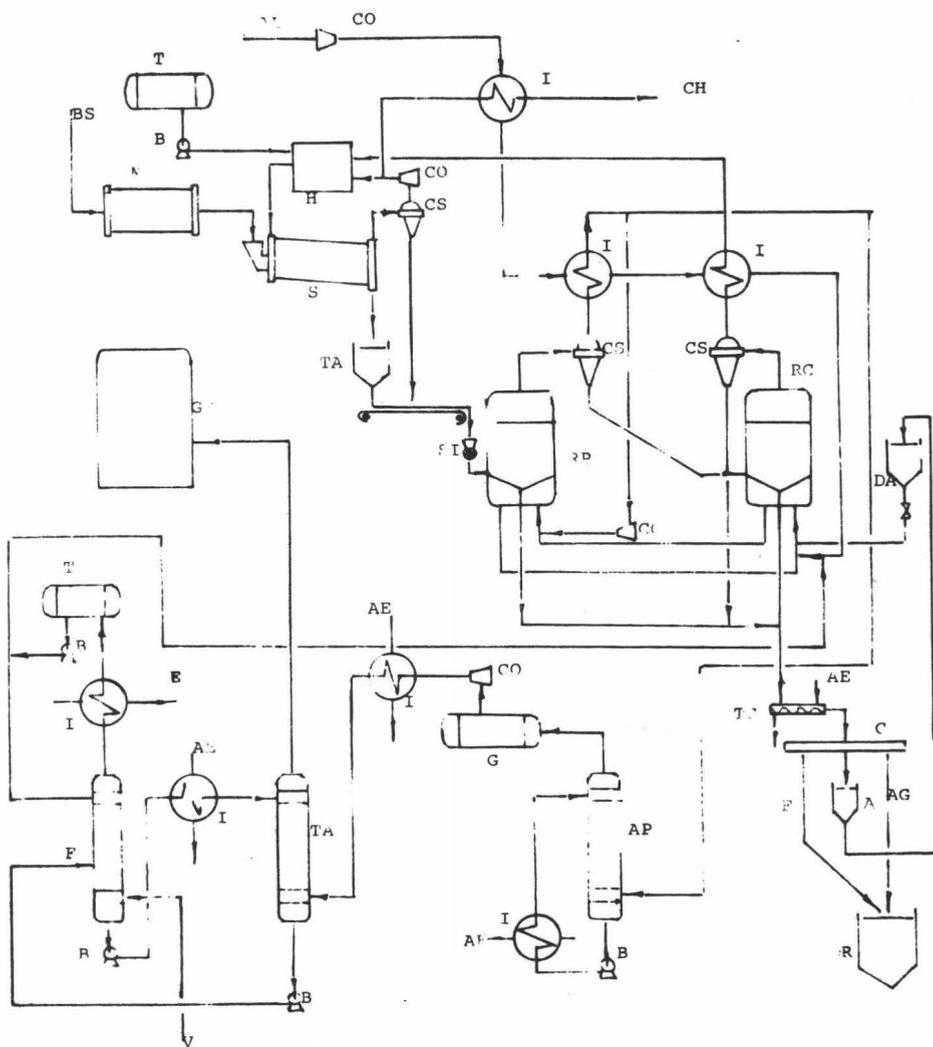


Fig I-10 Diagrama de flujo de una planta de pirólisis

ACOTACIONES

M	molino
S	secador
CO	compresora
T	tanque de combustible
H	horno y cámara de mezclado
CS	ciclón
TA	tolva de alimentación
SI	sistema de alimentación de basura al reactor de combustión
RC	reactor de combustión
DA	depósito de arena
TG	transportador de gusano con enfriamiento a contracorriente
C	cribado
CF	cenizas finas
A	arena
AG	aglomerados
DR	depósito de residuos
I	intercambiador
L	equipo de limpieza de los efluentes gaseosos
AA	aire ambiente
BS	basura seleccionada
AE	agua de enfriamiento
CH	chimenea

AP torre de apagado

G tanque de almacenamiento del gas de pirólisis

TA torre de basorción

F torre de fraccionamiento

TR tanque de reflujo

GF tanque de almacenamiento del gas combustible ya purificado

cho fluidizado. El flujo de los sólidos fluidizados entre los dos reactores se mantiene y controla por inyección de gas en las secciones verticales de las líneas de circulación para crear de esta manera diferencias de densidad.

Una gran ventaja de este sistema es que no mezcla el nitrógeno inerte y el dióxido de carbono producido en la combustión de los pesados y líquidos, con los productos orgánicos producidos en la pirólisis. Esto se traduce en una elevación del poder calorífico de la mezcla gaseosa al haber la metanación de monóxido de carbono de acuerdo a las siguientes reacciones:



Hidrólisis

Este proceso consiste en la conversión de desechos celulósicos en azúcares fermentables, al calentar el material a una temperatura elevada en la presencia de un ácido o una base fuerte. La hidrólisis de la celulosa para obtener una solución diluida de azúcares, carece de valor si no se le usa en conjunción con otros procesos. Por fermentación de dichos azúcares, es posible producir - alcohol etílico, ácido cítrico, forraje para animales e inclusive proteína para la alimentación humana. En la Unión Soviética se han usado con éxito estos procesos para obtener alcohol etílico, ácido acético y glucosa (4). En un estudio teórico realizado últimamente, para la producción de etanol a partir de desechos urbanos (1);

los costos resultaron bajos cuando se consideró un contenido de 60 % de material celulósico en los desechos urbanos. Existe un hecho en favor de este estudio, y es la experiencia en la producción de etanol a partir de madera durante la Segunda Guerra Mundial (Proceso Madison) (74), lo cual hace que el estudio susodicho luzca atractivo.

Otra posibilidad de aprovechar el proceso de hidrólisis es acoplándolo a la producción de proteína en forma de microorganismos. Esta es una alternativa con grandes posibilidades para países subdesarrollados, donde existe un suministro muy pobre de proteínas de buena calidad.

Biodegradación

Este proceso consiste en la transformación de la parte orgánica de los desechos urbanos, mediante la utilización de la actividad biológica de algunos microorganismos.

En el presente caso, con este método se analiza la posibilidad de la metabolización por ciertos microorganismos, de los componentes celulósicos presentes en las basuras urbanas y agrícolas, con la finalidad de producir proteínas de alta calidad. En las basuras urbanas, además de los componentes celulósicos se tienen otros componentes orgánicos susceptibles de ser metabolizados (grasas, otros carbohidratos y proteínas) aunque su cantidad es comparativamente mucho menor.

En las basuras urbanas de países industrializados, se tie

ne que el 40-50% del volumen total pertenece a material celulósico, en países como el nuestro el porcentaje es mucho mayor llegando hasta 70% ocasionado principalmente por un mayor consumo de productos naturales. Un poco más de 15% de este contenido celulósico es apto para el reprocesamiento en la fabricación de papel, pero en general la mayor parte del contenido celulósico de las basuras urbanas es de fibra de ínfima calidad, o bien está tan íntimamente mezclado -- con materiales no celulósicos que no es posible su reprocesamiento con este fin.

Un factor muy importante para el procesamiento de basuras -- agrícolas con esta tecnología, es que al final de su ciclo natural de producción se acumulan en un sitio central, por lo que inclusive llegan a presentar problemas de disposición, convirtiéndose en contaminantes tan solo por el volumen que ocupan y la inexistencia de un uso económicamente factible para ellas. Únicamente en los ingenios azucareros se le ha podido dar uso al material de desperdicio (bagazo), generalmente como combustible.

Conjuntamente con el creciente aumento en la generación de basuras se tiene una continua mengua de recursos. Uno de los principales recursos con abastecimiento restringido son los alimentos y más específicamente las proteínas (76, 77, 78). Hasta el momento -- este es un problema drásticamente limitado a los países subdesarrollados, prediciéndose un déficit asombroso en el suministro de proteínas ya para 1975 (79).

El problema es complicado aún más por el factor de la cali--

dad protéica, ya que la buena calidad metabólica de una proteína reside en el buen balance de aminoácidos esenciales que posea. Tradicionalmente este tipo de proteínas había sido suministrado por fuentes de origen animal como la carne, leche, huevos, pescado, etc. Pero las tendencias actuales del aumento de población y las de producción de fuentes protéicas convencionales, sugieren que en un futuro muy cercano, la demanda excederá grandemente el volumen de producción de proteínas por estas fuentes convencionales. Debido a esto, es necesario enfocar nuestra atención hacia fuentes protéicas no -- tradicionales. Otro hecho que también nos impulsa hacia el aprovechamiento de fuentes protéicas no tradicionales, son las grandes diferencias en las eficiencias de producción de proteínas por las diferentes fuentes(8); por ejemplo, una res de 500 kg puede sintetizar 1/2 kg de proteínas en un día, mientras que una cantidad equivalente de soja en el mismo tiempo sintetizaría 41 kg y la misma masa de levaduras sintetizaría 50 toneladas en el mismo tiempo. Si se -- tuviera una dieta de carbohidratos, la conversión de proteínas sería mucho mayor en las levaduras que en toro. Otro factor importante en la comparación reside en la consideración del área necesaria para mantener estas actividades.

Para fines de procesamiento, los puntos más importantes sobre la estructura física de los materiales celulóticos son: La existencia de cadenas poliméricas con igual estructura química pero con diferente grado de ordenación, desde amorfas a cristalinas. La susceptibilidad de la celulosa a la degradación enzimática varía in



QUÍMICA

versamente con la cristalinidad que posea, la cual puede ser disminuida por medio de un tratamiento con solventes electrolíticos, lo que también ocasiona un aumento de la reactividad química, un cambio físico del estado sólido, un aumento de la susceptibilidad a la tinción y en general una variación en todas las propiedades de superficie (81).

La degradación de la celulosa se entiende como una disminución en el promedio del grado de polimerización. Los principales tipos de degradación celulólitica son (82) por medio de hidrólisis (causa un aumento del poder reductor), por oxidación (causa un aumento de la cantidad de grupos carbonilo y carboxilo) y por medio de la acción biológica y mecánica.

Hasta el momento, todos los procesos industriales donde se usan carbohidratos como sustratos microbiológicos han estado limitados a los carbohidratos solubles en agua, en el caso de las basuras urbanas la materia prima es insoluble en agua, por lo que el material a utilizar debe ser solubilizado antes de ser introducido a la etapa de fermentación. No obstante, la solubilización de la celulosa puede realizarse también por la acción del sistema enzimático de varias bacterias y hongos.

Por un largo tiempo se pensó que la biodegradación de la celulosa era casi nula, o bien que ocurría a muy bajas velocidades -- (83, 84, 85). Ultimamente se han aislado hongos y bacterias que pueden metabolizar la celulosa directamente (86, 87, 88), pero los tiempos de residencia y las eficiencias de la conversión a proteínas

no son lo suficientemente buenos, como para vislumbrar la posibilidad de su procesamiento a escala industrial.

Para lograr una cinética de degradación de la celulosa por los microorganismos que la ocupan como fuente de carbón y de energía, es necesario someterla a un tratamiento prefermentativo, con el que se trata de disminuirle su cristalinidad relativa, de destruir la unidad estructural que hubiera con la lignina y de disminuir el grado de polimerización además de obtener todos estos cambios a costos competitivos. Según parecía los criterios anteriores eran obtenidos con un tratamiento alcalino suave seguido con una oxidación en un horno luminoso (89). Los resultados obtenidos fueron:

1. Después de una extracción con agua, la fracción de carbohidratos en el bagazo aumentó de 50 a 75 %.
2. La fracción de carbohidratos solubles aumentó de 2 a 18 %.
3. El grado de polimerización promedio disminuyó de 300 a 300.
4. La cristalinidad disminuyó de 50 a 10 %.

La selección del microorganismo metabolizante se basa en varios factores; unos se relacionan directamente como es su especificidad sobre el sustrato alimentado, su balance de aminoácidos esenciales, el contenido total de proteína, su cinética de crecimiento, su tamaño y otros más. Otros se relacionan indirectamente como es el grado necesario de pretratamiento y la disminución de los pasos necesarios en el procesamiento, como sucedería si no fuera necesario cambiar para la fermentación el pH al cual se realizó el ataque elec

trolfítico.

En el presente estudio se analiza la producción de bacterias *Cellulomonas* sp. (89). Los factores que inclinaron a su uso fueron sus propiedades de crecimiento, su eficiencia en la conversión de carbohidratos a proteínas, su buen balance de aminoácidos esenciales que la catalogan como una proteína de alta calidad. La principal desventaja que presenta reside en sus dimensiones, lo que podría causar unos costos de separación bastante altos. El método para su aislamiento por medio ambiente se encuentra reportado en la literatura (89).

Es importante hacer notar que la velocidad del ataque enzimático aumenta conforme se disminuye el tamaño de los fragmentos de sustrato, además el tipo de molido a emplear está en función del tipo de material celulósico en la alimentación. Siendo necesario evaluar la influencia de ambos parámetros en la economía del proceso.

El tratamiento alcalino se supone que aumenta la metabolización del material celulósico por los microorganismos, debiéndose de evaluar las condiciones óptimas para cada combinación organismo-sustrato; las variables más importantes que entran en juego son la concentración de la solución alcalina y el tiempo de pretratamiento. El tratamiento causa una disminución del grado de polimerización aumentando el nivel de carbohidratos solubles que supuestamente son más fácilmente fermentables.

Con las pruebas de crecimiento de las *Cellulomonas* sp. en medios ricos y pobres de carbohidratos solubles, se aclaró un poco más la cinética enzimática (89). El crecimiento de los microorganismos

en medios ricos en carbohidratos solubles, con concentraciones entre 500-800 mg/lt. de carbohidratos solubles, se observó una rápida disminución en la concentración de carbohidratos en el medio durante la fase exponencial de crecimiento del cultivo, disminuyendo la velocidad de crecimiento conforme disminuía la cantidad de carbohidratos solubles presentes. Esto implica un mecanismo metabólico simple con una asimilación directa de los carbohidratos solubles. En las pruebas de crecimiento en medios nutrientes con bajos niveles de carbohidratos solubles (con concentraciones de 10 a 100 mg/lt), se observó una cinética de crecimiento muy similar a la del caso anterior, no obstante no había carbohidratos solubles en cantidad suficiente, como para explicarla por el razonamiento anterior. En fermentaciones intermitentes se notó un ligero aumento en la concentración de carbohidratos solubles, hasta el final de la fase logarítmica de crecimiento con una posterior disminución. En el segundo caso se puede pensar en una gran actividad de las celulosas, es decir todo el sustrato soluble que está siendo metabolizado por los organismos, es producido en este caso por la ruptura enzimática de la celulosa; mientras que en los medios con altas concentraciones de carbohidratos solubles, se presenta una inhibición alostérica de las enzimas celulóticas.

Se tiene también una dependencia directa no lineal de la velocidad de crecimiento del cultivo sobre el grado de tratamiento alcalino, lo que induce a pensar que tal dependencia se deba no precisamente a la mayor producción de carbohidratos solubles, sino más bien a los cambios conformacionales inducidos sobre la forma soluble

de la fibra celulósica. En base a lo anterior, se recomienda un tratamiento alcalino muy suave para poder obtener los cambios conformacionales necesarios y prevenir la producción de carbohidratos solubles en la medida de lo posible.

Además del material celulósico, el medio de cultivo consiste de nutrientes inorgánicos (un hecho muy importante para la economía del proceso es la utilización de fertilizantes de grado comercial como fuentes de nitrógeno, fósforo, azufre y minerales), nutrientes especiales, agentes antiespumantes y agua.

Debido a las posibilidades de contaminación es necesario realizar un proceso de esterilización efectivo antes y durante la operación. Al principio de una corrida o de una operación continua, se alimenta la solución de nutrientes al fermentador esterilizando a continuación con vapor a 130°C, al mismo tiempo se esterilizan también las tuberías de alimentación de nutrientes, las de inoculación, las de inyección de aire y los filtros del mismo. Al disminuir la temperatura suficientemente (a 30°C), se inocula un volumen de cultivo (alrededor del 10% del volumen del fermentador que se encuentre en la fase exponencial de crecimiento. Entonces se comienza a inyectar vapor en la sección de esterilización y que posteriormente pase por la sección de enfriamiento, esterilizándose ambas secciones; inmediatamente se hace pasar la solución de nutrientes por las secciones de esterilización y de enfriamiento recirculándose la solución al tanque de mezclado de nutrientes; después de haber mantenido las temperaturas de esterilización en es--

tas secciones un tiempo adecuado, se comienza a alimentar agua a la sección de enfriamiento hasta lograr el equilibrio en las condiciones de operación necesarias. Entonces y si la densidad de células en el fermentador es ya la conveniente, se alimentan los nutrientes de modo continuo. Debido al efecto germicida del hidróxido de sodio se puede asegurar las condiciones de esterilidad.

Unos factores muy importantes en este proceso que se relacionan directamente con el paso de la fermentación, y aun necesitan ser más investigados experimentalmente son las condiciones de Temperatura, el valor del pH y la presión, el grado de aereación y de agitación, la concentración óptima de material celulósico en la alimentación y los tiempos de residencia de los microorganismos en el fermentador.

Los factores que pueden determinar el potencial económico de la producción de proteínas de alta calidad, en forma de microorganismos (*Cellulomonas* sp. o cualquiera otro) y como resultado de la fermentación de basuras celulósicas, son: (90, 91)

1. Materia prima:

- a. Facilidad de colección y transporte a la planta de tratamiento.
- b. Fluctuaciones estacionarias y disponibilidad.

2. Necesidades de esterilidad:

- a. Posibilidad de contaminación microbiana.

3. Fermentación:

- a. Material de construcción del fermentador (acero inoxidable,

- madera, concreto con revestimiento inerte).
- b. Desarrollo de cultivos mixtos capaces de metabolizar una amplia variedad de carbohidratos, lípidos y proteínas.
 - c. Tiempos de residencia, que están en función de la afinidad sustrato-microorganismo.
 - d. Calores de reacción y temperaturas de operación (disponibilidad de grandes masas de agua para realizar el enfriamiento).
 - e. Necesidades de oxígeno y potencia necesaria para la transferencia de masa.
 - f. Tendencia a la formación de espuma por la agitación.
 - g. Rendimiento de células por sustrato consumido.
 - h. Tipo de operación del fermentador.
 - i. Número de fermentadores.
4. Técnicas de cosechado de células:
- a. Tipo de microorganismo usado (tamaño y forma).
 - b. Uso de floculadores.
5. Técnicas de purificación y lavado:
- a. Impurezas que provengan en las materias primas.
 - b. Producción de ácidos nucleicos.
 - c. Tipo de productos metabólicos secundarios.
6. Valor del producto:
- a. Porcentaje de contenido protéico.
 - b. Aminoácido limitante.
 - c. Digeribilidad del producto.

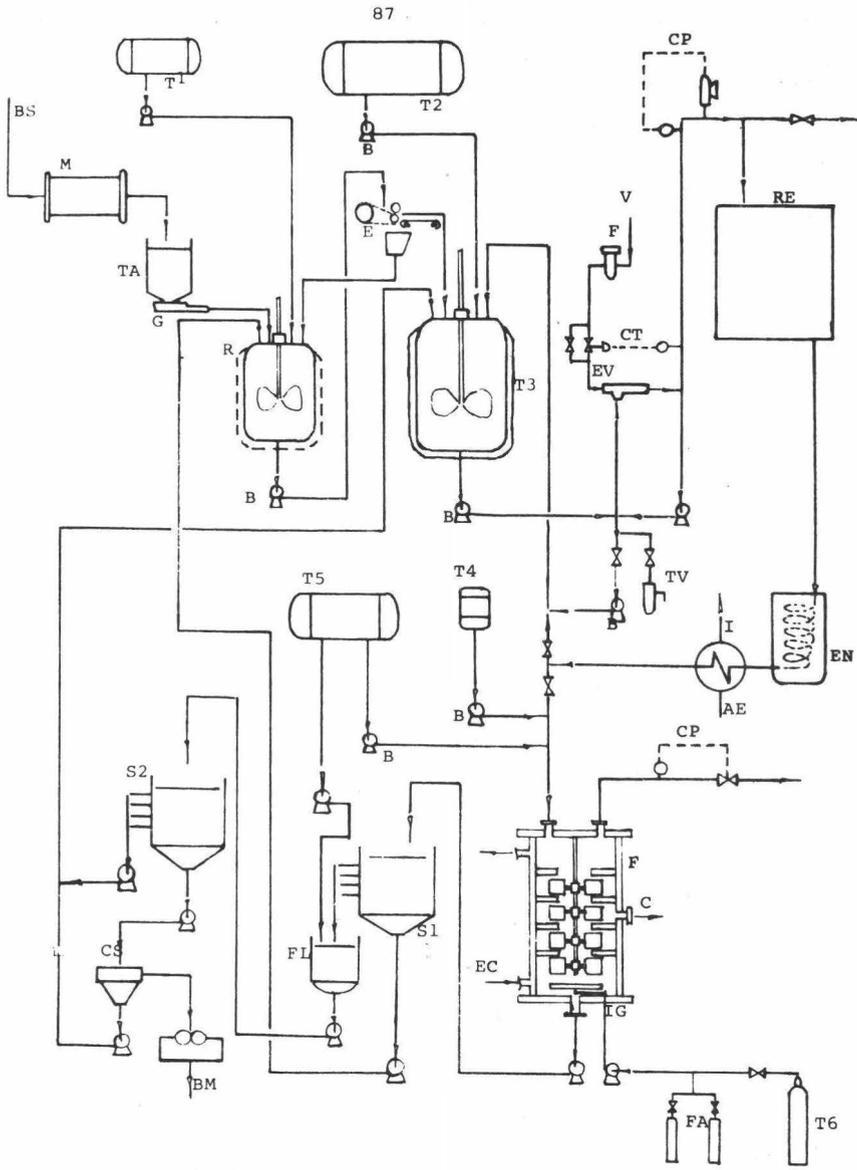


Fig I-11

ACOTACIONES PARA LA FIGURA I-11

Diagrama de flujo para la biodegradación de la parte orgánica de las basuras urbanas.

- BS basura seleccionada
- M molino
- TA tolva vibradora de alimentación
- G gusano alimentador
- T1 tanque de solución alcalina
- R reactor de ataque hidrolítico con agitación y enchaquetado eléctrico
- B bombas
- E exprimidor
- T2 tanque de la solución de nutrientes inorgánicos
- T3 tanque de mezclado y almacenamiento de nutrientes que se alimentan al fermentador
- TV trampa de vapor
- CP control de presión
- RE sistema de retención para lograr la esterilización
- EV enfriamiento por evaporación
- I intercambiador
- AE agua de enfriamiento
- T4 tanque de inóculo
- T5 tanque de ácido clorhídrico
- F fermentador
- EC control de la temperatura deseado en el fermentador por

medio de vapor (durante la esterilización) o de agua fría
(durante la fermentación)

- IG inyección de aire estéril y amoniaco
- FA filtros de aire con calentamiento directo
- TG tanques de amoniaco
- C control de temperatura, pH, concentración de células y nutrientes
- SI sedimentador para recircular los sólidos no degradados
- FL floculador de ajuste de pH

II. DESCRIPCION GENERAL DE ACAPULCO

1. Límites y localización geográfica (102)

La ciudad y puerto de Acapulco de Juárez está situada en el paralelo 16 50' 29" latitud norte y el meridiano 99 52' 20". Está dentro del municipio del mismo nombre que tiene una extensión de -- 1,881 Km². En esta zona está comprendida la ciudad junto con cua-- renta y un poblados y nueve rancherías.

2. Orografía

El municipio en general es montañoso, destacándose con mayor altura la Sierra de la Providencia y en la cordillera que rodea a - la Bahía de Acapulco, los cerros de Icacos, El Veladero y Carabalf.

Predominan los desniveles moderados, siendo ligeros sobre - la parte baja de la costa y fuertes en la parte norte donde el sue- lo es impermeable. Los suelos característicos en las partes bajas son de pradera con descalcificación de color oscuro y ricos en hu-- mus. En las partes altas, los suelos son complejos de montaña ca-- fés y ricos en humus. En 1967, la superficie cultivada en el muni- cipio era de 64 Km², lo que representa un porcentaje bajísimo.

3. Sismología

Por su frecuencia y magnitud, los sismos en el ámbito urba-- no, causan efectos de gran consideración. El diseño de los equipos debe tener estudios adecuados ya que han habido aceleraciones hasta de 274 cm/seg².

La Comisión de Planificación Regional de Acapulco y el De--

partamento del Plano Regulador a cargo de la Junta Federal de Mejoras Materiales hacen responsable al propietario de los daños.

4. Características Hidrológicas

En el área urbana, las subcuencas hidrológicas han sido alteradas con desviaciones o canalizaciones de los cauces naturales particularmente por la deforestación y se ha propiciado un cambio general en el régimen natural de escurrimientos, arrastres del material intemperizado de las partes altas y de sólidos diversos de desecho - que dañan las obras civiles de la estructura urbana y podrían causar problemas a un relleno sanitario o a unos patios de curado de composta.

5. Clima

Predomina el clima tropical de sabana según la clasificación - de W. Koepper. Las lluvias son periódicas teniéndose la mayor precipitación en los meses de junio y septiembre con un promedio de 400 - mm, aunque en algunos años llegó hasta 700 mm (102).

Podemos estimar como un promedio mensual para veintidos años, 250 mm.

De mayo a junio se tienen las temperaturas más altas, llegando en algunas ocasiones hasta 36°C. La mínima oscila entre 17 y 20°C. La diferencia diurna nunca excede de 10°C.

La temperatura promedio mensual para diez años es de 28.5°C.

Los vientos de mayor frecuencia e intensidad llegan al puerto con una velocidad que varía desde 2.57 Km/hr hasta 8.64 Km/hr. Los

menos intensos y frecuentes ocurren en los meses de octubre, noviembre, diciembre y febrero sin procedencia definitiva.

Enero y marzo del SW

Abril y septiembre del NW

Junio, julio y agosto N.

En ocasiones en los meses de julio a octubre llegan vientos huracandos originados en el Pacífico norecuatorial con una intensidad menor a los 70 Km/hr.

Enero y febrero proceden del WNW

Marzo SW y NW

Mayo SW y NW

Junio ESE

Julio E

Agosto SE y ESE

Septiembre y Octubre variable

Noviembre W

La humedad relativa media varía del 70% al 84%. Y el promedio mensual nunca es menor a 76.8 %.

6. Población

Podemos hacer una división:

a. Población fija

b. Población flotante o turismo.

La población fija en 1950 era de	28 512	
1960	49 149	
1970	174 378	(103).

Con respecto al crecimiento de la población, en la Secretaría del Patrimonio Nacional (102), se formaron hipótesis de posible comportamiento. Una de ellas considera que el índice de mortalidad disminuirá al mínimo debido a los adelantos científicos, pero que la fecundidad seguirá como en años anteriores. La otra fórmula considera también que la mortalidad disminuirá al mínimo, pero que la natali--dad también debido a que la pareja tiene ahora una capacidad de de--cisión y control debido a una cultura y tecnología que se va adqui--riendo con el tiempo.

De acuerdo con la segunda fórmula, la población de la ciudad de Acapulco, se verá incrementada de la siguiente manera:

TABLA II-1. PRONOSTICO DE POBLACION

1970	174 378	1978	360 417
1971	190 944	1979	394 657
1972	109 084	1980	432 149
1973	228 947	1981	473 203
1974	250 697	1982	518 157
1975	274 513	1983	587 382
1976	300 592	1984	621 283
1977	329 148	1985	680 305

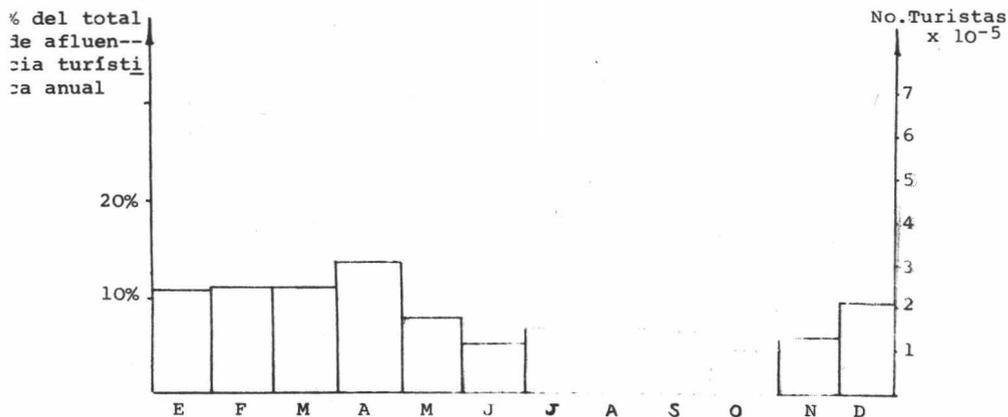
La Secretaría del Patrimonio Nacional propone también un pronóstico - de la población flotante para 1985. Nosotros basándonos en el núme--ro de camas que había en 1971, 28,218 (104), calculamos que el prome--dio de estancia para un turista es de 9 días al año.

TABLA II-2. AFLUENCIA TURISTICA A ACAPULCO (104)

	miles de personas por año	diarias
1970	1,150	38,397
1971	1,313.5	36,011
1972	1,500.6	37,725
1973	1,714.8	43,120
1974	1,966	49,295
1975	2,240.7	56,368
1976	2,562.2	64,471
1977	2,930.5	73,757
1978	3,352.6	84,396
1979	3,835.2	96,593
1980	4,390.6	110,578
1981	5,026.3	126,616
1982	5,766.3	145,010
1983	6,591.4	166,113
1984	7,550.6	190,328
1985	8,651.3	

Sobre la variación mensual de afluencia turística podemos decir que es casi constante según se ve en la gráfica III-3.

GRAFICA II-3. AFLUENCIA TURISTICA MENSUAL (104)



7. Actividad Económica

La población económicamente activa representa el 27% de la población. En 1970 el desempleo era de 2.8% y suponiendo que la actividad de la población va a aumentar en la misma proporción, tendríamos para los siguientes años:

II-4. PROYECCION DE ACTIVIDAD ECONOMICA

AÑOS	1970	1975	1980	1985	%
Industrias Extractivas	159	203	319	551	0.091
Industria de la Trans- formación	5293	7648	12040	20756	3.2
Contrucción	3935	5685	8950	15429	2.2
Energía eléctrica	234	332	532	918	0.134
Comercio	6886	9950	15663	27001	3.9
Servicios	18832	27210	42835	73840	10.0
Gobierno	2061	2978	4688	8082	1.2
Transportes	2483	3587	5647	9735	1.4
Insuficientemente Espe- cificados	4263	6159	9690	16715	2.4
Agric. Ganad. y Silv.	2700	3925	6180	10653	1.54
	<u>46848</u>	<u>67088</u>	<u>106557</u>	<u>183682</u>	<u>26.065</u>

III. GENERACION, COMPOSICION, RECOLECCION Y DISPOSICION ACTUAL
DE LAS BASURAS SOLIDAS EN ACAPULCO, GUERRERO

La cantidad y composición de la basura depende de la actividad humana de las áreas en que se genera. Por esto, nos hemos interesado en la división de la actividad económica de la ciudad. En varias de las áreas se hicieron estudios con detalle y en otras se tomaron datos conocidos de otros lugares (105).

Para estimar cuánta basura urbana y comercial se produce diariamente por persona, el procedimiento seguido se describe a continuación.

1. Se escogieron varias rutas representativas de las áreas con diferente actividad.
2. Se hicieron dos recorridos con el camión para obtener información de los usuarios del servicio.
 - a). Cuántas personas vivían o trabajaban en la casa;
 - b) El tiempo que tenían almacenada la basura.

Los resultados aparecen en la Tabla III-1.

TABLA III-1. BASURA URBANA Y COMERCIAL PRODUCIDA DIARIAMENTE

Camión	Peso de la basura Kg.	Area o servicio	# personas-día recolectadas	$\frac{\text{Kg}}{\text{persona/día}}$
4	2554	urbano	3320	0.77
11	2944	urbano	3096	0.95
11	1307	comercial	612	0.468

Para determinar la composición de la basura, la separamos di-

rectamente de los camiones recolectores en el basurero municipal. (Apéndice B). Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla III-2.

Cabe hacer notar aquí, que se pepenaron previamente en el camión 526 Kg de papel y 95 Kg de cartón que representan el 12.6 y 2.3 % respectivamente del peso total que cargaba el camión; --- 4162 Kg. Los valores que anotamos en la tabla tienen ya considerado este hecho.

TABLA III-2. COMPOSICION DE LA BASURA

	Kg.	%
METAL	3.0	3.61
Material orgánico	34.6	41.6
trapo	2.5	3.02
plástico	2.0	2.41
vidrio	9	10.85
hueso	2.5	3.02
madera	0.75	0.905
tierra	1.0	1.3
pedra	3.75	4.52
papel	10.4	12.55
cartón	1.87	2.25
desperdicio papel	<u>11</u>	<u>13.25</u>
	81.27 Kg.	100. %

Para el análisis químico, ver el Apéndice 3.

Basura comercial. La velocidad de generación de basura en las zonas comerciales depende de la cantidad y del material vendido, del número de empleados, del área disponible, etc. Nosotros - no hicimos esas mediciones, nos encargamos únicamente de hacer las mediciones al camión encargado de recolectar el área comercial.

Basura de oficinas de gobierno. La basura generada per cá pita en el gobierno se supone similar en composición y cantidad a

la comercial debido a que se supone que el empleado gubernamental y el derechohabiente generan la misma basura que un empleado comercial y un cliente (105).

Basura de los Servicios. La cantidad de desperdicios generados por los empleados de servicios se pueden considerar iguales a los comerciales.

Basura del personal de la Industria de la construcción. Se reporta 1.5 Kg/hombre diario (105) ya que ellos cocinan en el lugar de trabajo.

Basura de Industrias extractivas, transformación y energía eléctrica. Se puede considerar que se genera aproximadamente 0.5 Kg/hombre-día (105).

Agricultura, Ganadería y Silvicultura. Esta basura no se recolecta por los camiones encargados, por lo que no se toma en consideración.

La actividad insuficientemente especificada es la que desarrolla la gente en las calles; los subempleados. La basura que generan está incluida en la urbana.

Hoteles. Para estimar la basura en los hoteles, se tomó -- uno clasificado como A. (Los hoteles en Acapulco se dividen en las siguientes categorías: Lujo, AA, A, B, C). Se tomó así debido a que esta categoría de hoteles representa el 30.8% del total de cuartos disponibles (102) y estos representan la mayoría ya que los B y C son el 7.8%, los L el 14.8%, los AA el 6.4 y otros no registrados el 30.2%.

Nosotros supusimos que la cantidad de basura que produce un turista es independiente de su posición económica para los niveles de hoteles L, AA, A y B.

El hotel estudiado cuenta con cincuenta cuartos. La basura producida ese día fue de 24.05 Kg y habían setenta y un huéspedes. Esto equivale a una generación de basura de 0.34 Kg diarios por persona. Se hizo una muestra en el restaurante del hotel y se observó que el 93% era orgánica y el resto papel. Ese día se registraron -- 60 personas a comer. Suponiendo que hubieran hecho las dos comidas en el hotel, calculamos así el total de basura producida por un turista.

TABLA III-3. BASURA DEL RESTAURANTE

Orgánicos	42.5 Kg	93 %
Papel	<u>3.45</u>	7
	48.5 Kg.	

basura generada en el restaurante por persona por día	1.62 Kg	82.5
basura generada en los cuartos (desayuno incluido)	<u>0.34</u>	<u>7.5</u>
	1.96 Kg	100.%

Podemos considerar que independiente del lugar donde tome -- sus alimentos, el turista generará aproximadamente la misma cantidad de basura.

En la siguiente tabla se muestra la composición de la basura tomada directamente de los cuartos del hotel.

TABLA III-3. COMPOSICION DE LA BASURA DE LOS CUARTOS DEL HOTEL FLAMINGOS

	Kg	%
Vidrio	11	46
Latas	2.5	10.45
Papel	5.5	22.9
Plástico	0.75	3.13
Desp. comida	4.0	16.65
Trado	0.3	1.24
	<u>24.05</u>	<u>100.37</u>

Playas. Se recoben aproximadamente 3500 Kg diarios, con la composición indicada en la Tabla III-4.

TABLA III-4. COMPOSICION DE BASURA EN PLAYA CALETA

	Kg	%
Vidrio	9	51.3
Metal	2.5	14.3
Plástico	0.5	2.86
Desp. orgánico	3.5	20
Papel	2.0	11.45
	<u>17.5</u>	<u>100.11</u>

Hospitales. En Acapulco existen 458 camas hospitalarias repartidas de la siguiente manera (102).

IMSS	210
ISSSTE	20
Hospital General	120
Clínica de Marina	24
Clínicas Partucl- lares	<u>84</u>
	458

Se ha estudiado en varios hospitales que se tiran 3 Kg aproximadamente por enfermo. Como el número de camas es tan bajo en comparación con la población de las camas, estas siempre están ocupadas. Nosotros suponemos que la relación cama/población permanece constante siempre y que es 0.26% obtenido con los datos de 1970.

Escuelas. En Acapulco hay 54,596 estudiantes aproximadamente y se presentan el 31% de la población. Suponiendo que esta relación se conservará constante hasta 1985 tendremos entonces 210,894.

Mercado. Aquí se recogen diariamente 5,500 Kg, consistente en su mayoría de desechos orgánicos.

Con los datos anteriores podemos hacer un pronóstico aproximado de la cantidad de basura que se generará en los próximos años con el objeto de proyectar una planta que trate la basura durante los próximos 12 años.

TABLA III-5. GENERACION DE BASURA ESPERADA DIARIAMENTE POR ACTIVIDAD ECONOMICA

Tipo de basura	1970	1975	1985
Industrias extractivas	80 Kg	101 Kg	276 Kg
Industria de transformación	2646	3824	10378
Industria de construcción	5902	8528	23147
Energía eléctrica	117	169	459
Comercio	3223	4656	12636
Servicios	8813	12734	34557
Gobierno	965	1393	3782
Turismo	58623	110796	322062
Playas	3500	5386	14369
Hospitales	1374	2031	5310
Escuelas	12011	17097	46396
Mercado	5500	8416	22451
Urbana	<u>160221</u>	<u>252336</u>	<u>626259</u>
	262975 Kg	427467 Kg	1122055 Kg

Podemos concluir que Acapulco presenta una particularidad en -- cuando a la generación de basura, ya que 12.3 % es proveniente de ho-- teles y restaurantes, y de esta el 82.5 % son residuos orgánicos no contaminados por metales pesados. También la basura de mercado, que representa el 0.025% tiene las mismas características. O sea que el 10.3 % de la basura del puerto es ideal para los procesos de degrada-- ción química y bioquímica. Existe otra ventaja; esta basura es reco-- lectada independientemente de la basura urbana ya que hay un camión -- que recoge la basura del mercado exclusivamente y otros las de los ho-- teles. Esta manera evita que esa basura se contamine y llegue más rá-- pidamente al sitio de disposición final.

Adelantando un poco las conclusiones, se puede decir que para -- proponer cualquier método de disposición de residuos sólidos se de--- ben hacer muestreos sistemáticos de la basura generada en las diferen-- tes áreas de actividad económica.

La objeción a los datos presentada en este capítulo consiste --- principalmente en haber faltado a lo anterior, ya que en este caso -- sólo se tomó una muestra en cada área.

En vista de que los dos camiones escogidos realizan recorridos - diferentes y que además cada uno de ellos recolecta basura en diver-- sos puntos representativos de las diversas áreas de actividad previa-- mente descritas; es válido suponer que al muestrear y analizar la ba-- sura contenida en estos dos camiones se determinará la comparación re-- presentativa de la basura municipal del puerto de Acapulco (Tabla -- III-2).

Recolección actual de las basuras en Acapulco. (106)

Actualmente se encuentran implementadas veintitrés unidades de recolección con lo que se cubren aproximadamente las necesidades de un 85% de la población (Ver Tabla III-6). El resto no se ha atendido debido a tres razones:

- a). Falta de pavimentación
- b) Topografía del terreno

Existen otros servicios que cubren la basura del mercado, ya -- mencionada, la de las peatones, la del producto de barrido de calles, la de la limpieza de lotes baldíos, tiraderos dentro de la zona urbana y parques.

El equipo humano está constituido por 320 trabajadores, entre -- choferes, operadores, macheteros, barredores, personal administrativo y de talleres.

El equipo mecánico consta de las unidades enunciadas en la Tabla III-6.

Por cerca de veinticinco años, las basuras recolectadas en el -- puerto de Acapulco han sido despositadas en unos terrenos que actual mente se localizan en la nueva Colonia Lázaro Cárdenas y que pertenecen al Ejido de Las Cruces. Aunque nadie reclamaba este lugar, ha ce unos meses las autoridades ejidales, queriendo rescatar el tirade ro han levantado protestas al Ayuntamiento y otras autoridades para que no se siga llevando la basura a ese lugar. Hasta el momento, no se ha dispuesto otro lugar para depositar o disponer de esos desechos.

Además del problema legal que representa el actual sistema, de -- disposición de las basuras, surge un problema social, que considera-

mos es el más importante. Cientos de familias viven directamente de lo que pepenan de la basura; viviendo así en condiciones infrahumanas, víctimas de un sistema de consumo que justifica la pepena como un medio normal de subsistencia.

La gente que vive ahí, tiene que enfrentarse todos los días a:

- el aire que respiran. Como la basura es quemada en el tiradero, el aire resulta irrespirable ya que además de ser un humo denso - cargado de óxidos de nitrógeno, de azufre y decarbono contiene -- gran cantidad de microorganismos que llegan con el polvo, en forma de células vegetativas secas y esporas;
- que sus alimentos sean generalmente cocinados con basura como combustible;
- una asepsia total;
- no poder disfrutar de un ambiente agradable como derecho inmutable.

Legalmente, se está contraviniendo a los artículos 4, 10 y 11 - de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental. Además que específicamente se falta al artículo 6 del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica originada por la emisión de Humos y Polvos.

Cabe hacer mención especial desde el punto de vista económico, - que el Ayuntamiento hace una fuerte erogación para el mantenimiento del equipo de recolección por la lejanía y dificultad en el acceso - principalmente del tramo de brecha comprendido entre la Carretera -- México-Acapulco y el propio tiradero. Este problema se aumenta durante la época de lluvias en el que prácticamente se hace imposible el acceso debido al costo del transporte de la basura.

TABLA III-6. UNIDADES DE RECOLECCION DE BASURA EN ACAPULCO. (106)

UNIDAD	#	MODELO	TIPO	ZONA O SERVICIO
Máquina	1	1967	Jet-Vac	desazolve de drenaje
Barredora	2	1966	barredora	barrido de calles
"	3	"	"	" "
Camión	4	1965	cilindro	col. Progreso Sur
Camión	5	1965	"	Niños Héroes y Hornos Insurgentes
Camión	6	1965	"	Col. Progreso Norte
Camión	7	1965	"	Col. Hogar Moderno
Camión	8	1965	"	Col. Costa Azul e Icacos
Camión	9	1965	"	Florida y Vista Alegre
Camión	10	1965	"	Carabalí y La Fábrica
Camión	11	1969	"	Zona Comercial
Camión	12	1969	"	Lerdo de Tejada y Quebrada
Camión	13	1969	"	hoteles
Camión	14	1969	"	Parazal y Petaquillas
Camión	15	1969	"	Flamingos
Camión	16	1969	"	Fraccionamiento Deportivo
Camión	17	1964	estacas	Tambaco, Comino, Guinea
Camión	18	1964	redillas	Barrenderos de calles
Camión	19	1964	volteo	Mozimba y Santa Cruz
Camión	20	1953	volteo	Inalámbrica y la Mira
Camión	21	1963	"	Tierra y Escombros de -- calle
Camión	22	1962	"	Emergencias
Camión	23	1958	"	La Laja, Garita y 20
Camión	24	1964	redillas	Mercado Central
Tractor	25	1969	trascavo	Trabajo a Municipales
Camioneta	26	1969	redilas	Mercado Progreso
Camioneta	27	1968	panel	supervisión
Jeep	28	1960	abierto	compra refacciones
Tractor	35	D6	bulldozer	terracerías medio rural
Camión	42	1970	volteo	tierra y escombros
Camión	43	1970	"	tierra y escombros
Jeep	S/N	1968	cerrado	taller mecánico
Barredora chica		1969	barredora	Mercado Central
Camión Plan Acapulco		SePaNal	cilindro	Península de las Playas
Camión Plan Acapulco		SePaNal	cilindro	Frac. Hornitos

IV. ANALISIS PRELIMINAR Y SELECCION DE ALTERNATIVAS

Dentro de las diversas tecnologías para el tratamiento de los residuos sólidos municipales, se tienen dos aspectos que son inherentes a todas ellas. En todos los casos, es necesario que se efectúen las operaciones de separación y fragmentación; una excepción es el caso de relleno sanitario donde no es aconsejable que se lleve a cabo la fragmentación, con el fin de disminuir los costos de operación.

En el caso de nuestro país la separación se debe realizar manualmente, debido principalmente a razones de tipo social, ya que de este modo se crea una buena fuente de trabajo para los actuales pepenadores, cuyas familias de esta forma son incorporadas a la seguridad social. Por lo mismo, es necesario que la fragmentación se realice a continuación de la separación manual o pepena.

Para hacer un balance de los beneficios económicos que reporta la pepena, es necesario saber los precios de venta de los materiales extraídos de la basura. Los datos posteriormente mencionados son vigentes para el mercado de la ciudad de México (107), en el caso de Acapulco es necesario considerar una disminución de los ingresos reportados por su venta, debido a los costos de transportación a la ciudad de México. Por eso mismo, un factor que puede tener una influencia favorable sobre los ingresos debidos a este concepto, es la localización de un mercado más cercano; esto requeriría una investigación de mercado más profunda, lo cual no está fuera de nuestro alcance por el momento.

Cartón. La demanda de este material es muy alta en el área del Valle de México. Los compradores de este tipo de desperdicios se -- pueden localizar fácilmente. Los precios de compra fluctúan entre - 400 a 650 pesos la tonelada, lo cual depende de la calidad del material.

Papel. La demanda depapel es grande, sobrepasando a la oferta sobre todo en el caso del papel periódico el que alcanza un precio - de 730 pesos la tonelada. Por otro lado, el papel de escribir o de envoltura que no se encuentre muy dañado es comprado a 250 o 300 pesos por tonelada.

Trapo. Los principales consumidores de este desperdicio son -- los fabricantes de colchones y de estopa, variando su precio de 400 a 450 pesos la tonelada.

Vidrio. Sus precios de venta van de 160 a 200 pesos la tonelada. Los consumidores más importantes son las fábricas de vidrio y -- las embotelladoras de bebidas gaseosas, estas últimas solo compran - envases en buen estado de sus respectivos productos.

Lámina. Su demanda es considerable y no existe ningún problema para su venta. Los precios de venta oscilan entre 380 y 420 pesos - por tonelada.

Hueso. Este subproducto es generalmente vendido a las fábricas de gelatinas y pegamentos. Es comprado a precios que oscilan entre 280 y 380 pesos por tonelada.

Plástico. Los principales compradores son fábricas pequeñas de plásticos. Su venta se realiza a precios que fluctúan entre 1200 y 1500 pesos la tonelada, pero el material debe ser de buena calidad -

(debe estar libre de contaminantes) aunque puede ser mezcla de varios colores. Debiendo de preferencia ser material plástico de una sola clase o tipo (polietileno, poliestireno, polipropileno, etc.).

Tomando en cuenta la composición registrada en la basura de -- Acapulco, los ingresos reportados por la venta de los productos de la pepena, serían considerando 100 toneladas de basura como base y una eficiencia de 100% en la separación:

Producto	Cantidad (toneladas)	Precio Unitario (pesos/tonelada)	Ingresos (pesos/100 tons)
Cartón -	2.25	400	900
Papel -	12.55	300	3765
Trapo -	3.02	400	1208
Vidrio -	10.85	160	1736
Metal -	3.61	380	1731
Hueso -	3.02	280	845
Plástico -	2.41	1000	2410
	<u>37.71</u>		<u>12235</u>

Tiradero a Cielo Abierto

Como se expresó anteriormente, esta es la peor solución que puede dársele al problema de los desechos sólidos municipales, tanto -- en los efectos que causa sobre la naturaleza como los que origina sobre la salud pública y en especial sobre la de las personas que viven y trabajan en el tiradero.

Con las características de Acapulco (humedad, precipitaciones y temperatura), el número de microorganismos patógenos presentes en el tiradero es elevado. El tipo de vientos dominantes en el lugar donde se encuentra el tiradero (la ladera interna de la formación rocosa que rodea a Acapulco, formando un pequeño valle hacia tierra --

adentro y aislado de los vientos marinos), ocasiona que los humos producidos por la autocombustión de la basura, se encuentren constantemente sobre las viviendas de los pepenadores y de los vecinos del lugar; lo anterior puede ocasionar un aumento de la frecuencia en las enfermedades de las vías respiratorias y de todo tipo de enfermedades infecciosas, haciendo inhumanas las condiciones de vida presentes en el lugar.

RELLENO SANITARIO

El relleno sanitario en Acapulco ya está propuesto por el Ayuntamiento de la ciudad y se cuentan con 4 lugares: en el actual tiradero en el camino al Chorro, en la colonia Progreso, en la zona de Mozimba (barranco próximo a la costa) y en Pié de la Cuesta.

Presenta una ventaja económica ya que su costo de operación sería muy bajo, ya que según estimación del Servicio de Salud Pública de los E.U.A. (107), los costos para Acapulco en 1975, cuando se --espera que se generen 430 toneladas diarias, sería de \$ 16.00 por tonelada. Cabe hacer la aclaración que este costo tan bajo no supone una separación de los materiales reutilizables. Suponer que en México podríamos prescindir de esta operación es utópico ya que además de perder la creación de fuentes de trabajo, no aportamos ningún beneficio a las familias que actualmente viven de esto.

Un relleno sanitario en Acapulco supondría separar la basura -manualmente y aunque esto implicaría un mayor costo de operación, -se realizaría la venta de un producto.

Debido al aumento de población que puede tener Acapulco en cual

quier momento, el relleno sanitario puede recibir muy bien el --- aumento correspondiente en la cantidad de basura, sin aumentar -- apreciablemente los costos de operación.

Se debe realizar el relleno en la superficie gracias al terre no accidentado de estos lugares empleando el equipo del renglón 2 de la Tabla I-1; aunque habría que hacer un estudio de la tierra - como material de relleno.

Las condiciones climatológicas hacen difícil el relleno sanitario, ya que la temperatura biente y humedad relativa del aire -- aceleran la degradación con la formación de metano y amoniaco. El régimen de lluvia traería como consecuencia arrastres y filtraciones con la posible contaminación de mantos freáticos.

Los lugares ya propuestos para el relleno sanitario se deben estudiar a conciencia para determinar la permeabilidad del suelo, la existencia de mantos freáticos cercanos, que no esté situado en un lugar bajo a donde lleguen las aguas y que por lo tanto lo mantengan lodoso, la distancia a los vecinos, para que no sean molestados por los olores y gases.

Otro inconveniente grave que se tiene es la sismología propia del área. Con las aceleraciones que tienen los movimientos telúricos, podría causar un reacomodo del relleno y destruir y dejar al descubierto celdas que no estén asentadas.

Disposición Marina

En principio, este método es barato en su operación lo que -- puede hacerlo apropiado a las condiciones de Acapulco. El alto con

tenido demateria orgánica biodegradable en la basura de Acapulco, nos hace pensar en este método como un abono marino; esto permitiría también el desarrollo de la industria pesquera en el lugar, lo que permitiría disminuir la dependencia absoluta de la economía -- del lugar sobre el turismo.

Pero para tomar una decisión a este nivel, es necesario un estudio detallado de la ecología y orografía marinas en las regiones cercanas al lugar, para encontrar el lugar con las condiciones -- apropiadas, si es que lo hay. El estudio debe ser profundo ya que las repercusiones sobre la vida marina pueden ser desastrosas. Por otro lado es también de tomar en cuenta, los efectos que este método podría causar sobre la economía turística.

Compactación

Este es un método poco recomendable ya que no obstante poco - capital es requerido en comparación con otros procesos, las fuentes de trabajo creadas son muy pocas, además de que no proporciona ningún beneficio monetario al municipio.

Por otro lado, en este proceso influye de manera negativa el alto contenido de humedad en la basura de Acapulco, lo que hace necesario realizar una operación de secado, como primer paso de el -- método de compactación. Lo anterior aumentaría considerablemente los costos de operación de este proceso.

Incineración en Pozo Abierto

Este método posee varias características que lo hacen una so-- lución viable, para un lugar donde no se pretenda gastar mucho dine

nero en la disposición de basuras, y este es el caso de Acapulco. Los principales factores favorables son su fácil realización técnica y los valores bajos en su inversión inicial y costos de operación. Pero por otro lado, el régimen pluvial y las condiciones de humedad en Acapulco, son muy desfavorables para la operación - de este proceso; el alto régimen de lluvia puede ocasionar frecuentes altos en la operación y/o una combustión muy mala, esto último puede ser también causado por el alto contenido de humedad en las basuras del lugar.

El único beneficio obtenido por este método en caso de ser -- implementado en Acapulco, sería la eliminación de las basuras municipales ya que como anteriormente se mencionó, la inversión es no redituable. Por otro lado, este método representa una escasa fuerza de trabajo, ya que por cada 100 toneladas de basura incineradas diariamente en 2 pozos, se necesitan 3 ó 4 personas para su procesamiento por esta tecnología, mientras que la inversión necesaria sería de 1.5 millones de pesos.

Incineración en Hornos Convencionales

El procesamiento de las basuras urbanas en Acapulco por esta tecnología presenta como única ventaja, que su operación es independiente de las condiciones climáticas existentes, que en otros métodos es un factor determinante. El principal problema para realizar este tipo de incineración es la alta inversión inicial necesaria, que muy difícilmente estaría el municipio dispuesto a desembolsar. Por otro lado, es necesario tomar en cuenta el alto conte-

nido de humedad en las basuras municipales, lo que podría originar dificultades en la operación y un aumento de los costos de operación.

Por otro lado, los costos de operación pueden disminuir con la producción de energía, pero en este caso no existe un buen mercado para el vapor o la energía eléctrica producidos con la incineración, debido a la cercanía de grandes centrales hidroeléctricas y a la nula industrialización existente en el lugar.

Incineración Conjunta de Basuras Sólidas y Lodos de Aguas Negras

Para realizar este tipo de incineración se necesita que exista una planta para el tratamiento de Aguas Negras, de la cual se obtendría como producto los llamados lodos de aguas negras. Actualmente las aguas negras del puerto de Acapulco están siendo descargadas a la bahía, con la consiguiente alteración de su ecología.

Este tipo de incineración presenta los mismos inconvenientes que el proceso anterior, cuando se realiza en hornos convencionales. El uso de hornos de vórtice produce una incineración muy eficiente pero presenta grandes dificultades técnicas, además de que los costos de operación no podrían ser disminuidos con la producción de energía (lo cual es la ventaja principal de este método), por los motivos anteriormente mencionados. La tecnología más apropiada para realizar la disposición conjunta de basuras urbanas y lodos de aguas negras, en el caso de Acapulco, sería el método de oxidación húmeda, sobretodo por su economía, su fácil realización técnica y el uso de los lodos producidos por el proceso como mejorador orgánico.

co de los suelos.

Incineración en Lecho Fludizado

La influencia de las condiciones climáticas del lugar sobre el proceso son mínimas; aunque podría pensarse que el alto contenido de humedad en la basura de Acapulco puede influir negativamente sobre esta operación, pero el secado de las basuras que antecedería a su incineración, puede realizarse con la misma energía producida por la incineración.

Técnica y económicamente este es el mejor proceso de incineración, pero de igual manera que los otros métodos de incineración, no sería aconsejable operar únicamente este proceso para el tratamiento de las basuras Urbanas en Acapulco. Pero sin duda este proceso de incineración debe acoplarse a otros procesos para el tratamiento de las basuras en Acapulco, con el fin de hacer flexible la operación y de obtener parte de la energía que consume el proceso, del proceso de incineración.

COMPOSTACION

Los terrenos áridos y con mucho sol están casi privados de humus y al adicionar materia orgánica ésta se oxida rápidamente, por lo que se hace necesario agregarla en forma regular. Las tierras de Guerrero y Oaxaca en general poseen las características antes mencionadas por lo que el mercado es muy amplio.

La relación carbono-nitrógeno en las basuras de Acapulco es menor de 60, con lo que se favorece la composta Apéndice (E).

El contenido de humedad está entre 50% y 70%. Apéndice (C).

Las condiciones pluviales desfavorecen este proceso y máxime si es realizado en pilas. Debido a esto se aconseja el uso de digestores pues la duración del proceso debe ser lo más corta posible, ya que se evita la acumulación de desperdicios y así la proliferación de insectos y roedores.

Existen varios sistemas que transforman la basura en veinticuatro horas; uno de ellos, el Earp Thomas, permite además controlar la digestión mediante la utilización de correctores de pH, la inoculación de microorganismos útiles al suelo para repoblar su flora. Estos elementos hacen posible la fabricación de compost dentro de normas de control y permite gran variedad de presentaciones. También permite localizar la planta cerca de la zona urbana con lo que se reducen apreciablemente los costos de transportación de basura.

El digestor Earp Thomas consta de un cilindro de concreto armado con ocho divisiones horizontales interiores. En el centro tiene una flecha tubular de 40 cm de diámetro soportada en la parte inferior por un valero especial y movida por un motoreductor que le permite dar una revolución cada seis minutos. En cada uno de los pisos y conectados a la flecha central hay una barra horizontal hay una barra horizontal de fierro sobre la cual están sujetos unos arados fabricados con los pisos nones, el material se mueve de la periferia al centro y en los pares del centro a la periferia. Tiene cada piso una ventana de observación y un control

de temperaturas, así como una ventanilla de inoculantes o de muestreo. Cuenta también con una ventanilla para entrada de aire y un ducto para expulsión de gases.

PIROLISIS

Una de las ventajas de la pirólisis es la obtención de gas combustible. Por cada Kg de basura se producen 237 g de gas con un poder calorífico de 3050 Kca/m³. Este valor, que difiere del poder calorífico del gas natural (9360 Kcal/m³ a 15.6°C .1 atmósfera), representa una considerable fuente de energía.

Esta consideración resulta particularmente interesante en el caso de Acapulco debido a la relativa escasez de gas natural, pues el gas combustible producido localmente por pirólisis tendría un precio inferior.

Comparando las tablas del Apéndice D y la III-2, se ve la diferencia tan grande que existe en las composiciones de la basura de Acapulco y las de Estados Unidos. Debido a esto, antes de iniciar la construcción de una planta de este tipo es indispensable iniciar un estudio exhaustivo a nivel de planta piloto, ya que los datos -- que de él se obtengan no pueden obtenerse a partir de los publicados en otros lugares ya que éstos no son extrapolables a las condiciones de Acapulco y en general a las de México.

Biodegradación

Este proceso no es influenciado en modo alguno por las condiciones climáticas. El alto contenido de material orgánico en la -

basura de Acapulco, aunado a la ausencia de contaminantes serios en ellos (metales pesados, insecticidas artificiales y otros), indican favorables posibilidades de desarrollo del proceso de biodegradación.

Por otro lado, esta tecnología nos lleva a otro punto, la posibilidad de desarrollar en esta región una ganadería cuya dieta de proteínas fuese cubierta con los microorganismos producidos con esta tecnología, con lo cual se podría reducir la dependencia económica del lugar sobre el turismo, además de la gran cantidad de fuentes de trabajo que se crearían, no tanto por el procesamiento de las basuras urbanas de Acapulco sino por la actividad ganadera.

La biodegradación necesita sobre todo de un desarrollo experimental, lo cual ha sido puntualizado anteriormente al hacer la descripción del método.

Hasta este momento, se ha discutido sin llegar a un análisis económico, las ventajas y desventajas que presenta cada uno de los procesos para la población de Acapulco.

Para poder llegar a proponer la alternativa más conveniente, es necesario efectuar para cada uno de los procesos, un análisis del mercado y un estudio económico del proceso, que nos permita determinar los costos de tratamiento por tonelada de basura. Con los datos anteriores se hace uso del árbol de decisiones (120)

que toma en cuenta las inversiones iniciales, los costos de tratamiento y la factibilidad económica indicada por el estudio del mercado.

Lo anterior se encuentra fuera del alcance de este trabajo, ya

que su objetivo fundamental es la discusión de los diversos tratamientos a los que pueda someterse la basura urbana de Acapulco.

Sin perder de vista lo anterior, se propone un método de disposición de las basuras urbanas cuyas únicas características son, que al mismo tiempo de disponer de ellas satisfaga ciertas necesidades locales.

El procesamiento de la basura por un sólo método no es conveniente, debido a la poca flexibilidad de operación que se tendría, ya que la dependencia del proceso sobre la composición de la basura es muy grande; por otro lado, en el caso de la compostación, la biodegradación y la pirólisis, el proceso depende en gran medida de la demanda. Otra razón que muestra la inconveniencia del procesamiento de la basura por un sólo método es el gran tamaño que tendrían los equipos originándose por lo mismo grandes dificultades técnicas; tal es el caso de la compostación donde además de que se necesitaría un gran número de digestores, la cantidad de aire caliente que es necesario suministrar es muy grande, con lo que los costos de operación serían muy altos.

Como consecuencia se llega a la conclusión de que se necesita un sistema combinado para el tratamiento de basuras, que nos permita satisfacer las necesidades locales y tener un proceso autosuficiente y flexible.

Además, debido a las características de los suelos de la región es necesaria la producción de composta, y el calor que este procesamiento necesita puede ser suministrado por una incineración

Como subproductos de estos procesos se obtendrían residuos inertes, los que podrían ser enterrados sanitariamente sin ningún peligro. Posteriormente y con una experimentación suficiente, se podría implementar la sección de pirólisis produciendo gas combustible a precios bajos. En esta solución combinada se utilizaría el proceso Earp-Thomas para realizar la compostación y la incineración se llevaría a cabo en un reactor de lecho fluidizado por las razones mencionadas al principio de este capítulo. Además de que cuando se construyera el sistema de pirólisis, el reactor de combustión de la basura sería entonces utilizado para quemar los aceites pesados producidos en la pirólisis, con el fin de proporcionar el calor necesario al aire que se inyectaría a los secadores y al digestor. Técnicamente, el diseño óptimo está en función de la mejor distribución y aprovechamiento de la masa y energía en el proceso, pero también es necesario tomar en cuenta la cuantía de la demanda de la composta y su posible crecimiento.

En base a lo anterior, se proyecta una planta de procesamiento de 1000 toneladas diarias de basura por medio de una combinación composteo-pirólisis-incineración-relleno sanitario (Fig. IV-1); esperándose completar su construcción para 1985, fecha en la cual se tendría esa producción de basura en la ciudad de Acapulco. Los balances de masa y calor se encuentran resumidos sobre el mismo diagrama.

De una manera muy general, la planta constaría de las siguientes

tes operaciones:

1. Control de recibo.

- a) Pesar los camiones recolectores de basura
- b) registrar la fuente de los materiales recibidos
- c) llevar a cabo un control del sistema de recolección
- d) Controlar el tiempo de descarga
- e) Controlar la salida de producción y residuos.

Equipos: Caseta de operación
Báscula con reloj marcador.

2. Recibo de basuras.

- a) Descarga de camiones o unidades de recolección
- b) Dosificación del sistema de alimentación

Equipos: Tolvas

3. Alimentación y selección (pepena) de la basura.

- a) Como primer paso es necesario separar los contaminantes peligrosos como son los animales muertos, residuos de hospitales y demás elementos que puedan causar daño al personal, estos contaminantes son mandados directamente al incinerador.
- b) Separación de los materiales reutilizables
- c) Con el separador magnético se extraen la mayor parte de los elementos metálicos, para evitar daños en la sección de molido.
- d) Con el cribado se extraen los inertes con el fin de aumentar la calidad de la composta producida, y también se eleva el contenido calorífico de la basura alimentada a la incineración.

Equipo: Bandas transportadoras colocadas para una operación modular, con el fin de permitir ampliaciones.
Tolvas
Separador magnético
Cribas.

4. Molido.

- a) Reducción de tamaño
- b) Homogeneización del material
- c) Control del tamaño máximo de partículas
- d) Favorecer la formación de masas orgánicas que facilitarán el crecimiento de microorganismos.

Equipo: Molino(s) de martillos.

5. Digestor

- a) Se transforma la basura molida a composta con todas las - características propias de esto.

6. Secador.

- a) Se finaliza la digestión de la composta
- b) Se seca la composta hasta una humedad del 20 %.

Equipo: Secador rotario.

7. Reactor de Pirólisis

- a) se piroliza la basura a 820°C, produciéndose una mezcla gaseosa de productos de pirólisis
- b) Se deben producir suficientes pesados como para mantener - tanto el proceso de pirólisis como el de compostación.

Equipo: Reactor de acero inoxidable
Compresoras.

8. Reactores de Combustión.

- a) Suministrar calor al reactor de pirólisis calentando la - arena que se está circulando por ambos reactores.
- b) Suministrar calor a los secadores
- c) Dar salida a un exceso de basura

Equipo: Reactores de acero inoxidable
Compresoras
Intercambiadores.

9. Relleno Sanitario. Ahí se dispondrá de:

- a) Los rechazos en el control de recibo
- b) Los inertes extraídos en la sección de clasificación
- c) Las cenizas de incineración
- d) Eventualmente a la sobreproducción de basuras

Equipo: El necesario para operar un relleno sanitario, lo cual fue ya discutido en la sección correspondiente.

10. Laboratorio.

- a) Control de calidad.

Para mayores detalles sobre los cálculos hechos, ver el Apéndice (E).

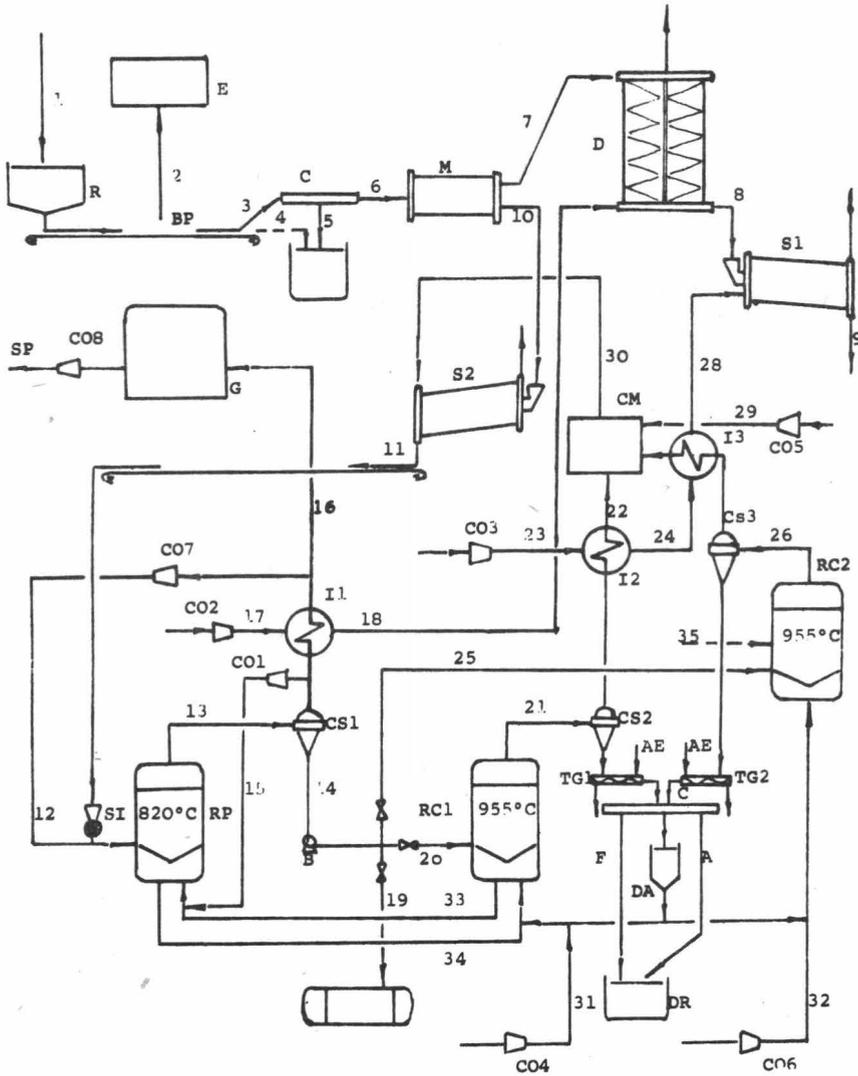
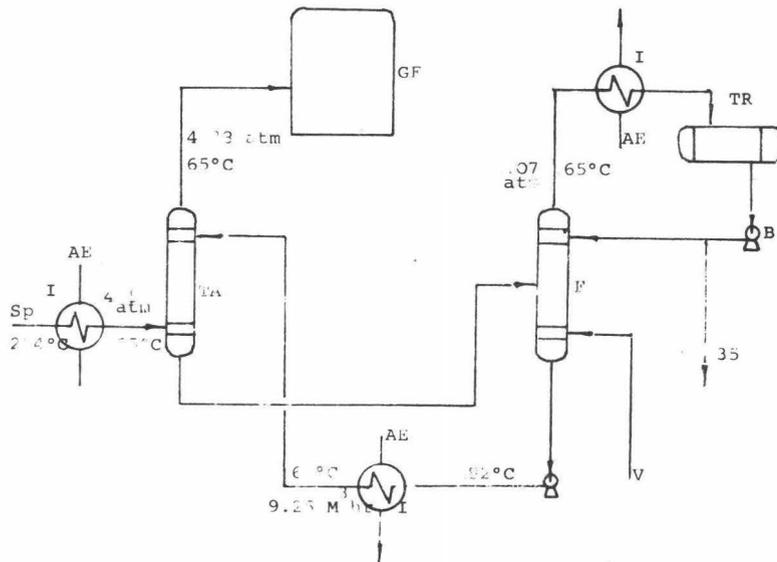


Fig IV-1 Diagrama de flujo para la planta de procesamiento de 1000 toneladas diarias de basura



ACOTACIONES

- R tolvas de redepción de basura
- BP banda de pepenado
- E zona de empaque de los subproductos de la pepena
- AR almacén de material destinado al relleno sanitario
- C cribado
- M molino
- D digestor
- S secador
- SI sistema de alimentación de basura al reactor de pirólisis
- RP reactor de pirólisis
- CO compresora
- I intercambiador
- CS ciclón
- B bomba
- RC1 reactor de combustión de la unidad de pirólisis
- RC2 reactor de combustión auxiliar
- TG transportador de gusano con enfriamiento a contracorriente
- DA depósito de arena
- DR depósito de residuos destinados a relleno sanitario
- CM horno y cámara de mezclado
- F cenizas finas
- A aglomerdaos
- T tanque de almacenamiento de los aceites pesados sobrantes
- G tanque de almacenamiento del gas de pirólisis

AE agua de enfriamiento

SP al sistema de purificación de los gases de pirólisis

TA torre de absorción

F torre de fraccionamiento

TR tanque de reflujo

V vapor

GF tanque de almacenamiento del gas combustible ya purificado

L líquido recuperado para ser alimentado a los reactores de combustión.

VALORES DE LAS CORRIENTES

- 1) 1000 T/día de basura municipal sin ningún tipo de preseparación
- 2) 392.7 T/día
- 3) 615 T/día
- 4) 12.3 T/día
- 5) 70 T/día
- 6) 545 T/día
- 7) 237 T/día a 53.4% Humedad. 4.63 T basura seca/día , 20°C
- 8) BS 463 T/hr; $x=0.8$, 70°C, 44.4% Humedad
- 9) 146.5 T/día (4.875 T/h); 20% H, $x=0.25$, 45°C
- 10) 308 T/día (12.8T/hr); 53.4% Humedad, 20°C, BS 6.2 T/hr , $x= 1.145$
- 11) 668 T/hr , 7% Humedad, BS 6.2 T/hr , $x=0.076$; $T=100^{\circ}\text{C}$
- 12) 0.356 T/hr ; $T=135^{\circ}\text{C}$, $C_p=0.554$ Kcal/kg°C , $\rho=0.000662$
- 13) 22.4 l/Kg de basura, $T=820^{\circ}\text{C}$; $\rho = 0.0001875$ g/ml
- 14) 107 T/hr, $T=820^{\circ}\text{C}$; $Q= 641 \times 10^6$ Kcal/T
- 15) 1.12×10^5 l/min, propiedades iguales a 13
- 16) 5.51 T/hr , propiedades iguales a 12
- 17) aire ambiente; $T=28^{\circ}\text{C}$, Humedad=70%; $y=0.013$, $C_p=0.24$ Kcal/Kg°C
172 T/hr, $\rho=0.001035$ g/ml
- 18) 172 T/hr, $T=90^{\circ}\text{C}$, $y=0.0183$
- 19) 0.295 T/hr, propiedades iguales a 14
- 20) 0.275 T/hr, propiedades iguales a 14
- 21) 4 T/hr , $T=955^{\circ}\text{C}$, $C_p=0.3$ Kcal/Kg°C, $\rho=0.000232$ g/ml
- 22) 4 T/hr, $T=350^{\circ}\text{C}$, $C_p=0.3$ Kcal/Kg°C
- 23) aire ambiente; 94 T/hr; propiedades iguales a 17

- 24) 94 T/hr; $T=59^{\circ}\text{C}$; $y= 0.0183$
- 25) 0.5 T/hr; $T=820^{\circ}\text{C}$; $Q= 6.41 \times 10^6$ Kcal/T
- 26) 16.3 T/hr; $T=955^{\circ}\text{C}$, $C_p= 0.3\text{Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$
- 27) 16.3 T/hr. $T= 785^{\circ}\text{C}$
- 28) 94 T/hr; $T=90^{\circ}\text{C}$; $C_p=0.24$ Kcal/Kg $^{\circ}\text{C}$, $y = 0.0183$
- 29) aire ambiente. 145 T/hr; propiedades iguales a 17
- 30) 165 T/hr; $y=0.0183$; $T= 140^{\circ}\text{C}$
- 31) aire ambiente; 38 T/hr; propiedades iguales a 17
- 32) aire ambiente; 16 T/hr; propiedades iguales a 17
- 33) arena; 24.1 T/hr; $T= 820^{\circ}\text{C}$;
- 34) arena; 24.1 T/hr; $T= 955^{\circ}\text{C}$
- 35) alimentación eventual de basura molida y del líquido recuperado en la seccion de purificación de los gases.

BS base seca

Como ya anteriormente se mencionó, se propone una solución a corto plazo al problema del tratamiento de las basuras municipales en el puerto de Acapulco, esta solución es un tratamiento combinado por composteo-incineración-entierro sanitario (Fig. IV-2). Esto nos permite varias ventajas. Una de estas ventajas es la posibilidad de usar como reactor de incineración, el mismo reactor -- que posteriormente sería usado en el sistema de pirólisis para quemar parte de los pesados obtenidos, con el fin de suministrar calor a los secadores; estas variaciones en la operación de este reactor de combustión son fáciles de lograr, ya que solo es necesario variar la cantidad de arena que constituya al lecho con lo cual se puede aumentar o disminuir la cantidad de aire que se esté inyectando al reactor. Por esto mismo se puede solucionar fácilmente y de una manera continua el aumento gradual (causado por el crecimiento continuo de la población) o esporádico (presente -- principalmente en las fechas con gran afluencia turística al puerto) de la basura producida en el lugar.

Otra ventaja reportada por este proceso es la autosuficiencia del proceso en lo referente a que es necesario suministrarle, además, la operación sería muy flexible ya que el calor producido en la incineración es muy grande, por lo que el proceso puede ser autosuficiente dentro de un amplio margen de operación. Esto se puede ver más claramente con las siguientes tablas. En la primera se analiza la cantidad de calor (QT) que es necesario suministrar a la operación de composteo de acuerdo a la cantidad de basura alimentada a la digestión. En la segunda tabla se muestran la

cantidad de calor desprendida por la incineración y el calor que es necesario suministrar a este mismo proceso en el paso de secado que antecede a la incineración, restando esta cifra del calor producido en la incineración, se obtiene el calor que es susceptible de ser usado para suplir las necesidades de la fase de composteo.

TABLA IV-1. BALANCES DE MASA Y CALOR PARA EL COMPOSTEO

Alimentación de basura a los digestores		Aire (90°C) alimentado a: Digestor		Secado		Calorasuministrar a gases Digestor Secado		Total
T/día	T/hr.	T/hr	G_D	T/hr	G_S	Q_D	Q_S	Q_T
						(Kcal/hr x 10 ⁵)		
50	2.08	35		20.7	5.53	3.27		8.80
100	4.58	70		25	11.1	5.5		16.61
150	6.26	105		36.7	16.6	9.0		25.6
237	9.82	174		94	27.5	14.6		42.1

G_D - Aire a 90°C que es necesario suministrar al digestor

G_S - Aire a 90°C que es necesario suministrar al secador de composta

Q_D - Calor requerido por G_D para alcanzar una temperatura de 90°C

Q_S - Calor requerido por G_S para alcanzar una temperatura de 90°C

Q_T - $Q_D + Q_S$

TABLA IV-2. BALANCES DE MASA Y CALOR PARA EL PROCESO DE INCINERACION

Basura molida alimentada		G_{s-2}	$G_{Q_{s-2}}$	Q_I	Q
T/día	T/h	T/h	Kcal/h 10^5	Kcal/h 10^5	Kcal/h 10^6
50	2.08	22.5	5.61	2.72	4.312
100	4.16	43	10.72	5.45	4.352
150	6.25	67.1	16.75	8.2	6.525
200	8.35	90	22.4	10.9	8.66
250	10.42	117	29.5	13.7	10.75
300	12.5	134	33.6	16.45	13.09
350	14.55	158	39.5	19.1	15.15
400	16.65	181	45.2	21.8	17.28
450	18.7	204	51.1	24.6	19.49
500	20.8	226	56.6	27.4	21.74

C_{s-2} Aire a 140°C que es necesario suministrar al secador 2

$Q_{G_{s-2}}$ cantidad de calor que es necesario proporcionar al G_{s-2} para que su temperatura sea de 140°C .

Q_I Cantidad de calor producida por la combustión de la basura alimentada.

Q Calor neto susceptible de ser aprovechado por la sección de composteo.

Para 1975 se espera una producción diaria de basura de 450 toneladas; las cuales se reducirían a 250 toneladas diarias después de haber sido sometidas a la pepena y extracción de inertes.

Para este volumen de basuras se propone el uso de dos digestores, que procesarían en conjunto 100 toneladas diarias a composta. Las 150 toneladas de basura restantes se incinerarían. Esta medida se justifica tanto por la baja demanda de composta esperada en un principio como ya anteriormente se dijo, y por los balan

ces de calor que es necesario satisfacer, lo cual se puede apreciar en los datos anteriores; es decir si se quisieran compostear 150 toneladas de basura, las 100 toneladas restantes no podrían suministrar el calor necesario al ser incineradas.

El aumento en la producción de basura, sería en un principio absorbido por la sección de incineración, aumentándose únicamente las líneas de pepenado y molido cuando fuese necesario. Cuando la composta haya logrado aceptación o se establezcan grandes programas de mejoramiento de suelos, y de acuerdo a la producción diaria de basura y los balances de masa y calor que nos permitan un proceso autosuficiente, la sección de composteo podría ser ampliada. De esta forma y después de haber desarrollado una buena experimentación a nivel piloto sobre la pirólisis de la basura de Acapulco, se podría llegar a implementar la sección de pirólisis de la manera como inicialmente se propuso la planta de procesamiento de 1000 toneladas diarias de basura.

La característica más importante de el proceso propuesto, radica en el hecho de que no obstante el balance preliminar ya realizado con los datos disponibles, y en el caso de que se suscitara variaciones considerables en las propiedades de la basura, como podría suceder con la temporada de lluvias o con un cambio en su composición que ocasionara una disminución del contenido calorífico de la basura (cosa muy poco probable), el ajuste de la operación para mantener el proceso autosuficiente, es muy sencillo ya que solo se necesita aumentar la proporción de basura que se destine a la incineración.

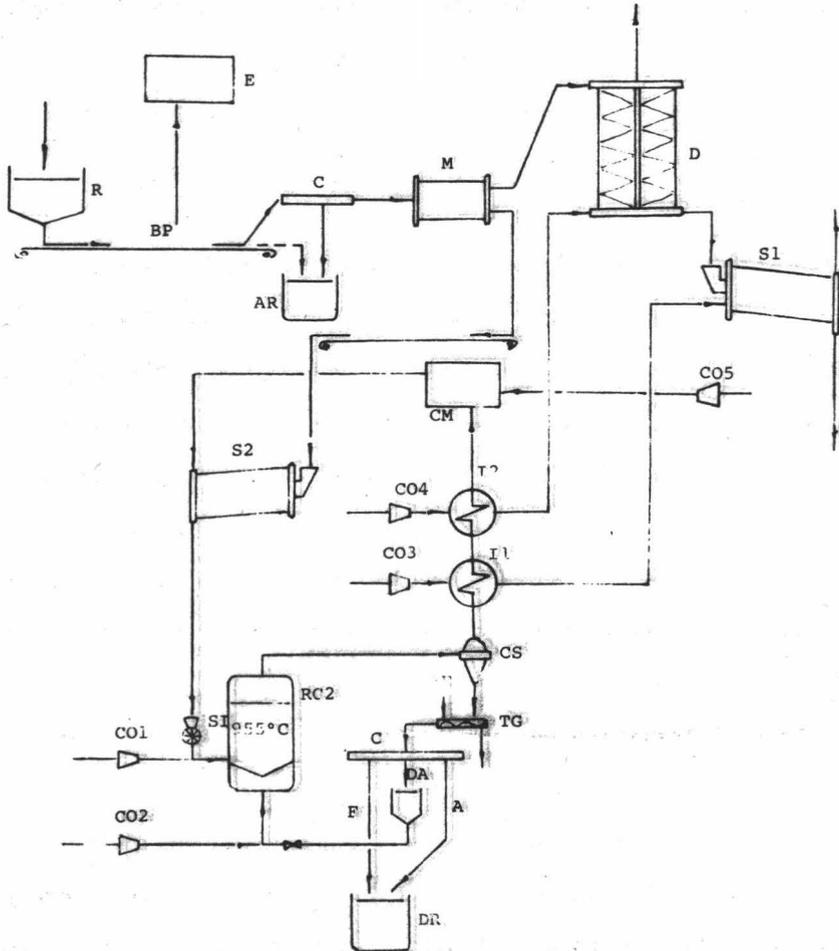


Fig IV-2 Diagrama de flujo de la planta de procesamiento de basura para la solución inmediata.

APENDICE A.

CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS EN ACAPULCO

Clase o carácter	Composición o Naturaleza	Origen de la Fuente
material de cocina	desperdicios en la preparación de alimentos, basura de mercados	casas habitación y mercados
desperdicios aprovechables	combustibles: madera papel periódico, cargón	
	no combustibles: latas, metal, vidrio de botella	casa habitación hoteles
desperdicios no aprovechables	combustibles: polietileno, trapo, algodón, cuero, hule, pasto, hojas	tiendas restaurantes mercados escuelas
	no combustibles: piedra, cerámica, tierra, material de construcción	comercio
basura de calle	hojas, polvo, animales muertos, material de construcción	calle lotes baldíos parques

A pesar de que el análisis se hizo con todo cuidado, cuando habían elementos de composición mixta, se catalogaban de acuerdo a la categoría a la que los llevaba su mayor peso.

Esta es una clasificación de la basura que encontramos en Acapulco; para una clasificación más completa y detallada ver (Cap. III).

APENDICE B.

PROCEDIMIENTOS

I. Determinación de la cantidad de basura generada.

1. En una zona habitacional;

a bordo de los camiones recolectores se siguieron varias rutas y a cada persona que depositaba la basura en el camión, se le preguntó:

- a) Cuánto tiempo había tenido almacenada la basura
- b) cuántas personas vivían en la casa.

Al final de cada recorrido se pesó el camión.

La cantidad de basura generada diariamente por persona en sus casas, es el cociente del peso de la basura en el camión entre la suma de los productos tiempo (en días) número de personas, determinados a partir del cuestionario anterior.

Los resultados se muestran en la Tabla III-1.

2. En las escuelas

Se tomó de las escuelas Ignacio Zaragoza y Lázaro Cárdenas toda la basura de un día, la cual pesó 243 Kg. Dividiendo esta cantidad entre el número de alumnos de ambas escuelas (1105) se obtuvo la cantidad de basura por alumno. Los resultados se ven en la página .

3. Por turista

Se pesó la basura total de un día en el Hotel "Flamingos", y esta cantidad (24.05 Kg) se dividió entre el número de turistas --

ahí alojados (71). Como este hotel también tenía restaurante anexo, se pesó la basura de un día producida ahí (48.5) y esta cantidad se dividió entre el número de personas que tomaron sus alimentos suponiendo que hicieron dos de sus comidas ahí.

II. Composición de la basura

A partir de una cantidad de 1523 Kg de basura contenida en un camión se tomó una muestra cuarteada de 81.27 Kg. Se clasificó de acuerdo al Apéndice A. Los resultados del análisis se encuentran en la Tabla III-2.

III. Análisis físico y químico para determinar el potencial de la basura.

Humedad. Se secó una muestra pesada de basura a 60°C hasta peso constante.

El porcentaje de humedad se calculó de acuerdo con la fórmula de la pág. .

Densidad. Se introdujo basura en cubetas de 12 litros previamente pesadas y se dejaron caer al suelo desde 10 cm de altura. Después de esto se completó el volumen, debido a que esta compactación lo hizo disminuir. Esta operación se repitió hasta que no se obtuvo cambio de volumen. Entonces se pesó esta basura por diferencia y se dividió entre el volumen de la cubeta.

Para las siguientes determinaciones se molió la basura a partículas de 0.5 mm de diámetro con un molino Wiley modelo 3 de 1 HP.

Cenizas. Se introdujo una muestra molida y pesada en una mufla a 800 °C durante dos horas hasta peso constante. El porcentaje de cenizas (A %) se calculó por la fórmula siguiente:

$$A \% = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Obtenido de Materia Orgánica. Esta se determina por el método de oxidación, el cual consiste en pesar aproximadamente 0.1 g de basura molida a la que se añaden 10 ml de dicromato de potasio 1 N y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se agita lentamente durante un minuto y se deja reposar durante 30 minutos. Se le añaden 100 ml de agua destilada, 10 ml de ácido fosfórico al 95%, y como indicador, 0.5 ml de difenil amina.

Se titula la solución con sulfato ferroso 0.5N hasta obtener una coloración verde.

El porcentaje de materia orgánica se determina por la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Materia Orgánica} = \frac{V''N' - VN}{P} \times 0.67 \times 100$$

V' = volumen de dicromato dado en ml

N' = normalidad del dicromato usado

V = volumen de sulfato ferroso en ml

N = normalidad del sulfato ferroso

p = peso de muestra

$$0.67 = \frac{12}{4000} \times \frac{1.72}{0.77} \times 100 \quad (118)$$

0.77 = factor de recuperación usado por Wilkley (119)

1.72 = factor de materia orgánica a partir del carón

Lípidos. Estos se determinan por extracción con ciclohexano en Soxhlet y posterior determinación gravimétrica por diferencia

Nitrógeno. Por el método de Kjeldhal se determina nitrógeno orgánico y amoníaco sin incluir nitritos o nitratos. Este método se basa en la conversión del nitrógeno de los compuestos orgánicos a bisulfato de amonio formando un complejo mercurio amoniacal que se descompone por potiosulfato de sodio. El amoníaco se destila de un medio alcalino y se absorbe en ácido bórico, y por adición del reactivo de Nessler, el nitrógeno se determina colorimétricamente.

Calor de combustión. Con una bomba Parr, después de haberle terminado su constante de conducción con pastillas de ácido benzoico, se determinó el calor de combustión de 3 muestras de basura de 10 g cada una. El valor dado es el promedio de las tres.

APENDICE C.

RESULTADOS DEL ANALISIS FISICO Y QUIMICO DE LA
BASURA DE ACAPULCO.

Humedad	53.4 %
Densidad	0.314 $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3}$
Cenizas	8.2 %
Materia orgánica	77.47 %
Nitrógeno	2.7 %
Lípidos	20.6 %
Calor de combustión	2780 $\frac{\text{cal}}{\text{g}}$

APENDICE D.

COMPOSICION DE LAS BASURAS URBANAS EN GUAM Y LOS ESTADOS UNIDOS (105)

Componente	Guam	E. U.	E. U. (22)
Desperdicio de comida	7.7	22	26.1
Desperdicio de jardinería	10.7	5	7.9
papel	16	48	43.8
Cuero, hule y plástico	2.2	3	3
Textiles	5.1	2	2.7
Madera	1.9	1	2.5
Metal	35.3	8	9.1
Vidrio y cerámica	13.6	7	9
Piedra, tierra, ceniza, etc.	7.5	4	3.7
Basura diaria per cápita (kg)	1	1.5	

Debido a las características climáticas y socioeconómicas de -- Guam se podía haber tomado como parámetro de comparación, con los da tos obtenidos en Acapulco. Pero existe una cosa extraña en estos da tos, esto es el alto contenido de metales en la basura de Guam, esto es de extrañar y seguramente existe un factor desconocido para nosotros que causa esta irregularidad (existencia de cierto tipo de in-- dustria en la isla o bien, quien causa la alta producción de desperdicios metálicos son las bases navales que se encuentra en la isla). En el caso de la basura de los Estados Unidos, las diferencias exis-- tentes con la encontrada en Acapulco, son lógicas; en Acapulco se re-- gistra una mayor producción de desperdicios orgánicos y el contenido de papel es menor.

APENDICE E.

CALCULO DE LA UNIDAD DE PIROLISIS (118, 119)

Reactor de combustión

Propiedades del medio de fluidización (aire)

$$M_c = 193 \text{ g cm}^{-1} \text{ seg}^{-1} \quad T_c = 132^\circ\text{K} \quad P_c = 36.4 \text{ atm}$$

$$M_r = 2.4 \quad T_r = 9.53 \quad P_r = 3.85 \times 10^{-3}$$

$$M = 3.12 \times 10^{-5} \text{ lb ft}^{-1} \text{ seg}^{-1}$$

$$\text{velocidad mínima de fluidización} = u_{mf}^2 = \frac{\phi_s d_p}{1.75} \frac{P_s - P_g}{P_g} g \epsilon_{mf}^3$$

$$\text{velocidad terminal de fluidización} = u_t^2 = \frac{4 g d_p (P_s - P_g)}{3 P_g C_d}$$

$$\text{número de Reynolds} = Re_p = \frac{d_p P_g u_t}{M}$$

$$Cd_{Rep}^2 = \frac{4 g d_p P_g (P_s - P_g)}{3 M^2}$$

La compresora que se necesita, se calcula

$$-W_{si}/\text{hr} = \frac{V}{\gamma - 1} P_1 V_1 \left[\frac{P_2}{P_1} \frac{\gamma - 1}{\gamma} - 1 \right]$$

$$W_{sa} = W_{si}/\eta \quad \text{HP} = W_{sa}/\text{hr}$$

$$\eta = 0.85 \text{ para una compresora axial.}$$

Reactor de Pirólisis

La viscosidad del gas de pirólisis se calcula a partir de los datos de la Tabla E-1 y con el método de las propiedades reducidas

(118).

$$P_c = \sum_{i=1}^7 x_i P_{c_i}$$

$$T_c = \sum_{i=1}^7 x_i T_{c_i}$$

EFLUENTE GASEOSO DEL PIROLISADOR

compuesto	fracción peso	fracción mol	PM	CP cal/g°	CP cal/g°	Tc °K	Pc atm	\dot{M}_c g/cm seg $\times 10^6$
H ₂	0.00737	0.0695	2.014	3.6	0.0266	33.3	12.8	34.7
CH ₄	0.0282	0.0334	16.038	1.1	0.0305	190.7	45.8	159
CO	0.128	0.0867	28	0.28	0.0494	133	34.5	190
CO ₂	0.1165	0.0503	43.99	0.291	0.0341	304.2	72.9	343
C ₂ H ₄	0.008	0.0055	24.084	0.82	0.0065	282.4	50	215
C ₂ H ₆	0.003	0.0049	30.062	1.0	0.00293	365	45.5	233
H ₂ O	0.0715	0.795	18.004	0.55	0.394	647.3	217.7	1175

PM = 19.79

Tc = 549°K

pc = 182 atm

$\dot{M}_c = 972 \times 10^{-6} \text{ g cm}^{-1} \text{ seg}^{-1}$

$\dot{M} = 802 \times 10^{-6} \text{ g cm}^{-1} \text{ seg}^{-1}$

DATOS DE OPERACION

	RP	RC ₁	RC ₂
presión entrada	8 psig=1.56 atm	1.56 atm	1.56 atm
presión salida	3 psig=1.195atm	1.195atm	1.195 atm
altura reactor	20 ft = 6 m	6 m	6 m
área transversal	44.1ft ² = 3.84 m ²	3.84 m ²	3.84 m ²
temperatura	820°C	985°C	985°C
altura lecho			
estático	2.5 ft=0.75 m	0.75 m	0.75
expandido	4 ft = 1.2 m	1.2 m	
cantidad arena	300 lb = 136 kg	136 kg	136 kg
densidad arena	100 lb/ft ³ =1.61g/cm ³	1.61 g/cm ³	1.61 g/cm ³
C _p arena	0.191 cal/g°C	0.191 cal/g°C	0.191 cal/g°C
densidad lecho estático	3.07 lb/ft ³ =0.0492	0.0492 g/cm ³	0.0492 g/cm ³
diámetro promedio partícula arena	0.025in=0.625 mm	0.625 mm	0.625 mm
orificio de plato de distribución	0.096 in = 2.4 mm	2.4 mm	2.4 mm
esferidad arena	0.63	0.63	0.63
ε _{mf} *	0.45	0.45	0.45
densidad del gas	0.01171lb/ft ³ =0.000187	0.000187g/cm ³	0.000187g/cm ³
C _p del gas	0.554 cal/g°C	0.24 cal/g°C	0.24 cal/g°C
C _p gas efluente	0.554 cal/g°C	0.30 cal/g°C	0.30 cal/g°C
ε _{mf}	fracción vacía a condiciones de fluidización mínima		

	RP ₁	RC ₁	RC ₂
u_{mf}	0.85 ft/seg=0.255m/seg	0.21 m/seg	0.21 m/seg
u_t	200 ft/seg=60 m/seg	75.6 m/seg	75.6 m/seg
u_o	1.4 ft/seg=0.44 m/seg	0.51 m/seg	4.71 m/seg
V_o	1960 l/seg	1761 l/seg	4350 l/seg
potencia de las compresoras	41.2 HP	47 HP	105 HP
C_p molar	10.91 cal/gmol°K	8.06 cal/gmol°K	
C_v	8.92 cal/gmol°K	6.07 cal/gmol°K	
γ	1.23	1.325	1.325

BIBLIOGRAFIA

1. Drobny, N.L., Hull J.E. & Testin R.F., Recovery & Utilization of Municipal Solid Waste. US. Environmental Protection Agency. --- Solid Waste Management Office. Report sw10c. Cincinnati. 1971.
2. Patent Abstracts. International, Solid Waste Management. 1945-1969. U.S. EPA. Report sw78c. Washington. 1973.
3. Patent Abstracts, US., Solid Waste Management. 1945-1969. US. -- EPA. Report sw77. Washington. 1973.
4. Hershhaft A., Solid Waste Treatment Technology. Environmental --- Science & Technology 6 (5) Mayo 1972.
5. Sanitary Landfill. Manual of Engineering Practice No. 39. American Society of Civil Engineers. (ASCE). N.Y. 1969.
6. Municipal Refuse Disposal. American Public Works Association. --- Danville ill. 1966.
7. Zaltzmann R. et al. The Sanitary Land Disposal of Solid Wastes. -- West Virginia University. Morgantown, WV. 1972.
8. Heukelekin H., Basic Principles of Sludge Digestion. Biological -- Treatment of Sewage and Industrial Wastes. Vol. 2. Reinholds Pubs. N.Y. 1948.
9. Lehninger A.L., Biochemistry. Worth Pubs. N.Y. 1970.
10. Sorg. T.J. & Hickman H., Sanitary Landfill Facts. US. Dept. of -- Health Education & Welfare. Cincinnati. 1968.
11. Adler C., Open Dumpin: Pollution or Fertilization ? Water Wastes - Engineering. Apr. 1971.
12. Smith D., Marine Disposal of Selected Solid Wastes, A Major Benefi- cial Use of Ocean Space. 69th. National Meeting. AIChE. Cincinnati. May. 1971.
13. Janasch H.W. et al. Microbial Degradation of Organic Water in the Deep Sea. Science. Feb. 1971.
14. Smith D.C. & Brown R.P., Deep Sea Disposal of liquid & Solid Wastes. Ind. Water ENG. Sep. 1970.
15. McKee J.E. & Wolf H.W. Water Quality Criteria. Chap. 8. 2nd. Ed. -- California Water Control Board, Sacramento.

16. Gordon T.S., Apparatus for Dumping Debrids from the Deck of a -- Vessel. Can. 609 839. Aug. 9, 1957; Dec. 6 1960.
17. Dunlea J.V., Bulk Disposal of Rubish. Ger. 1274 051. Dec. 7, 1965; Aug. 1, 1968.
18. Tezuka K., Method of Refuse Disposal. US. 345 185 Aug. 3, 1966; Jun. 24, 1969.
19. Quinn O.T., Baling Press. US. 2503 354. Dec. 31, 1946; Apr. 11, 1950.
20. Neuenburg K. & Born H., Refuse Compactor. Ger. 1269 944. Aug. 5, 1966; Jun. 6, 1968.
21. Smolka K., Press for Compressing Refuse. G.B. 1164 428. May. 15, 1968; Sep. 17, 1969.
22. Chemical Engineering. Desbook Issue. Solid Wastes Disposal. June 21, 1971.
23. Lucier T.E., The Pit Incinerators. Industrial Water Eng. Sep. 1970.
24. Peskin L.C., The Development of Open Pit Incinerators for Solid Waste Disposal. J. of the A.P.C.A. 6 (10) 1966.
25. Peskin L.C., The Development of Open Pit Incinerators for Solid Waste Disposal. 59th. Annual Meeting Air Pollution Control Association., Sn Fco., June, 1966.
26. I.I.A. Incinerators Standars. Incinerator Institute of America. N.Y. Nov. 1968.
27. National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards. Federal Register 36, April 30, 1971.
28. Ferro T. & Manov M.V., Traveling Grate Incinerator for City Refuse. US. 2481 504. Apr. 22, 1944; Sep. 13, 1949.
29. Rivers R.V., Traveling Grate Incinerator. US. 3169 498. Mar. 14, 1961; Feb. 16, 1965.
30. Simpson T.S., Refuse Incineration. US. 3473 493. Sep. 15, 1967; Oct. 21, 1968.
31. Mallows J.A., Refuse Incineration. US. 802 949. Nov. 9, 1956; Oct. 15, 1968.
32. Funk M.D., Traveling Grate Incinerator Furnace. Can. 680 389. Mar. 13, 1961; Feb. 18, 1964.

33. Engel W. & Von Heine A., Continuous Refuse Incinerator. Ger. -- 1176 783. Apr. 22, 1960; Aug. 27, 1964.
34. De Bartolomeis R., Inclined Grate Furnace for Combustion of -- Solid Wastes. Switzerland. 381 795. Jan. 21, 1963; Sep. 15, 1964.
35. Blanch E., Method for Incinerating Solid Fuel. Can. 814 187. Mar. 23, 1964; Jun. 3, 1969.
36. Leopold K., Refuse Incinerator Plant. Ger. 1170 105. May. 30, -- 1961; May. 14, 1964.
37. Syrovatka Z. & Dolezal M., Improvements Relating to the Combustion of Low Grade Combustion Materials with a High Water Content. GB. 1148 056. Jun. 6, 1966; Apr. 10, 1969.
38. Municipal Refuse Disposal. 2nd. Ed. American Public Works Assn. Chicago. 1968.
39. Wagner H.L., Refuse Feeding Device for Furnace. Can. 520 282. Dec. 12, 1955; Jan 3, 1959.
40. Converting Solid Wastes to Electricity. Env. Science & Tech. 4 (8), August 1970.
41. Plants Burn Garbage, Produce Steam. Env. Science & Tech. 5 (3) -- March, 1971.
42. Gutehoffnungshutte A.C., Method and Apparatus for Utilizing Heat Derived from Garbage or Refuse Incineration. GB. 1031 412. Jan. 21, 1963; Jun. 2, 1966.
43. Connell J.M., Refuse Disposal System. US. 3393 652. Oct. 7, 1966; July 23, 1968.
44. Babcock & Wilcox Lim., Improvements Relating to Vapor Generators. Australia. 152 382. Dec. 6, 1951; July 16, 1953.
45. Funk, M.O., Traveling Grate Incinerator Durnace. Can. 680 389. -- Mar. 13, 1961; Feb. 18, 1964.
46. Weisnewki H., Method for Operation of a Refuse Incinerator. ---- Switzerland. 376 604. Apr. 15, 1964; May. 30, 1966.
47. Tutt R.N., Improvements Relating to Boilers Utilizing Waste ---- Materials. GB. 1029 660. Nov. 5, 1962; May. 18, 1966.
48. Hart S.A., Solid Waste Magnagement in Germany. Report of the US. Study Team visit, June 25 - July 8 1967. Public Health Service Publ. 1812. Goberment Priting Office. Washington, 1968.

49. Stabenow G., New Incinerator at Munich. W.G. MECAR Symposium on Incineration of Solid Wastes. N.Y. March. 1967.
50. Fernandez J.H., Incinerator-Gas-Turbine Cycle. US. 3473 331. Apr. 4, 1969; Oct. 21, 1969.
51. Moegling E., Refuse Boiler in Combination with a High Pressure -- Power Static Boiler. US. 3397 677. Apr. 21, 1967; Aug. 20, 1968.
52. De Matco J. et al., "Incinerator Guidelines 1969". US. Dept. of Health, Education and Welfare. Public. Health Service. Cincinnati, 1969.
53. Stenburg P.L. et al., Yield Evaluation of Combustion Air Effectson Atmospheric Emission from Municipal Incinerators. J. Of A.P.C.A. 12 (2) Feb. 1972.
54. Enggal R.B., Solid Waste Processing-A State on the Art Report on Unit Operation and Process. Public Health Service Publication # 1856 Washington, D.C. 1970.
55. Tanner R. et al., Combined Incinerator for Simultaneous Incineration of Rubish and Sewage Sludge. Switzerland. 470 632. Apr. 26, 1968; Mar. 21, 1969.
56. Guijer A., Method & Equipment for Combustion of Sewage Sludge and Garbage. Switzerland. 403 104. Sep. 25, 1963; Nov. 30, 1965.
57. Witt Jr. P.A., Disposal of Solid Wastes. Chemical Engineering. Desbook Issue. October 4, 1971.
58. Balakrishman S. et al., State of the Art Review on Sludge Incineration Practics. Water Pollution Research Series. Federal Quality Administration. 17070., Washington. 1969.
59. Mallat R.C., et al., Incinerate Sludge and Caustic. Hydrocarbon Process. May 1970.
60. Heinz D. & Heinz W., Fluidized Bed Furnace for the Incineration of Sewage Sludge. Ger. 1288 277. Mar 19, 1963; Jan. 30, 1969.
61. Herbert J.W. & Larue P., Incinerators. Can. 628 897. Aug. 24, 1958; Oct. 10, 1961.
62. Campbell D.L., Plant for the Incineration of Refuse. Switzerland 473 359. Dec. 30, 1966; May 31, 1969.
63. Baillie R.C., Solid Waste Incineration in Fluidized Beds. Ind. - Water Eng. Nov. 1970.

64. Smith J.M., Chemical Eng. Kinetics. 2nd. Ed. McGraw-Hill.
65. Johnson G.E., et al., Use of Carload Fly Ash as Adsorbents for Removing Organic Contaminants from Secondary Municipal Effluents. Ind. & Eng. Chem. 4 (3), July 1965.
66. Mohele F.W., Fly Aids in Sludge Disposal. Env. Science & Tech. 1 (5) May 1967.
67. Reclamation of Municipal Refuse by Composting Ibid. University of California. Berkley. 1971.
68. Perry Jr. R.W., The Sotry and Biological Aspects of Composting. Term Paper Submitted to the Graduate School of West Virginia -- University. Morgantown, WV. 1969.
69. Peterson M.L., Parasitological Examination of Compost. US. E.P.A. N.Y. 1971.
70. Zaltsmann R., Solid Waste as a Potencial Fuel. West Virginia --- University. Morgantown, WV. 1967.
71. Alpert S.B. et al., Pyrolysis of Solid Wastes. A Technical and - Economical Assesment. Stanford Research Institute. Menlo Park Calif. 1972.
72. Solid Waste. A New Natural Resource. Prepared by the Staff of the Fluidized Bed Gasification Proyect. West Virginia University. Morgantown WV. 1971.
73. Hoffman D. & Fitz P.A., Batch Report Pyrolysis of Solid Municipal Wastes. Environmental Science & Tech. 2 (11) Nov. 1972.
74. Hilbert G.E., Sugars from Wood. Ind. & Eng, Chem. 37 (1) Ja. 1945.
75. Harris E.W. & Belinger E., The Madison Wood Sugar Process. Ind. & Eng. Chem. 38 (9) Sep. 1946.
76. Population and Food Supply. U.N. Report F.A.O. Basic Study No. 7.
77. 6 Billions to Feed. F.A.O. U.N. World Food Problems No. 4.
78. Protein. F.A.O. U.N. FFHC. Basic Study No. 5.
79. Third World Food Suply. F.A.O. U.N. FFHC. Basic Study No. 11.
80. Thaysen A.D., Food and Fooder Yeast. Roman W. (Ed), Yeasts. -- Academic Press. N.Y. 1957.
81. Mark H. Interaction and Arragement of Cellulose Chains. Ott. E. et al., (Eds), High Polymers V. 5. Cellulose and Derivatives.

- Interscience Publishers. 1954.
82. McBurney L.F., Kinetics of Degradation Reactions. Ott. E. et al., (Eds) Opus cit.
 83. Langwell H., Cellulose Fermentation. J. of the Soc. of Chem. Ind. 51 (49) 1932.
 84. Olson F.R. et al., Effect of Lignin on Fermentation of Cellulosic Materials. Eng. Chem. 29 1957.
 85. Acharya C.M., Studies on the Anaerobic Decomposition of Plant Materials. IV. The Decomposition of Plant Substances of Varying Composition. Biochemical Journal. 29 (6) 1935.
 86. Ghose T.K., Continuous Enzymatic Saccharification of Cellulose -- with Culture Filtrates of *Trichoderma Viride*. Biotechnology and Bioengineering. 11 (2) 1069.
 87. Han. Y.W. & Srinivisan V.R., Isolation and Characterization of a Cellulose Utilizing Bacterium. Applied Microbiology. 16 (8) --- 1968.
 88. Rogers C.J. et al., Production of Fungal Protein from Cellulose and Waste Cellulosics. Environmental Science and Tech. 6 (8) -- 1972.
 89. Callihan C.D. & Dunlap C.E., Construction of a Chemical Microbial Pilot Plant for Production of Single Cell Protein from Cellulosic Wastes. US. E.P.A. sw-24c. 1971.
 90. Callihan C.D. & Dunlap C.E., The Economics of Microbial Proteins Produced from Cellulosic Wastes. Compost Science. 10 (1) 1969.
 91. Meller F.H., Conversion of Organic Solid Wastes into Yeast. An Economic Evaluation. US. Dept. of Health, Education & Welfare. sw-6c. 1969.
 92. Leo J.N., Solid Waste Generation and Reduction. Paper Submitted to the Graduate School of West Virginia University. Morgantown W.V. 1969.
 93. Reclaiming Municipal Garbage. Env. Science & Tech. 5 (10) Oct. 1971.
 94. Solid Waste Recovery System for all Municipalities. Env. Science & Tech. 5 (2) Feb. 1971.
 95. Kirk Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology. Vol. 14. Interscience Publishers. New York.

96. Lyssett C.H., Industrial Wastes and Salvage. Atlas Publishing Co. N.Y. 1963.
97. Pryor E.J., Mineral Dressing. Cap. 16 Elsevier Publishing Co. --- Amsterdam. 1965.
98. Russell N.W. Solid Waste Disposal Problems Arising from the --- Projected Output of Containers. American Public Works Assoc. --- Washington. 1969.
99. Glass Recycling Makes Stides. Env. Science & Tech. 6 (12) Nov. -- 1972.
100. Walker D.L., How Garden State Boosted its Sheet Dryness. An up to day Evaluation. Pulp & Paper 41 (24). June 1967.
101. Wolf H., The Story of Scrap Rubber. US. E.P.A. Cleveland 1963.
102. Plan General de Desarrollo. Investigación Preliminar. Plan Acapulco. SPN. México, 1973.
103. VII, VIII, IX Censos Generales de Población. Dirección General de Estadística. SIC. México, 1971.
104. Turistas en Acapulco, 1971. Oficina del Depto. de Turismo en Acapulco. 1972.
105. Little H.S., Solid Waste Management in the Territory of Guam US. Dept. of Health, Education & Welfare. Cincinnati. 1972.
106. Mejoramiento de los Servicios de Recolección, Transporte y Disposición Final de la Basura en Acapulco. SPN. Acapulco, Gro.
107. Proyecto Preliminar de la Planta Industrializadora de Desperdicios Naucalpan, Edo. de México. Diciembre de 1970.
108. Witt Jr. P.A. Solid Waste Disposal. Chemical Engineering. Desbook Issue. May, 8 1972.
109. Golueke C.G. & McGahey R.F., Comprehensive Studies of Solid Waste Management. SERL Report 67-7. Univ. of Calif. Berkley. May 1967.
110. Porteus A., Towards a Profitable Means of Waste Disposal. ASME -- Paper 67-wa/PID-2 1967.
111. Novak R.G., Eliminating or Disposing of Industrial Solid Wastes. Chemical Eng. Oct. 5 1970.
112. Scher. J.A., Solid Waste Characterization Techniques. Chem. Eng. Progress. Mar. 1971.

113. Apell H.R., Hydrogenation of Solid Wastes. National Solid Waste Management Conference. Houston 1970.
114. Feldman H.F. Pipeline Gas from Solid Wastes. Paper 6d, 69th. National Meeting AIChE. Cincinnati. May. 1971.
115. Lantz D.C., Refuse Incinerators. Australia 247 041. Mar. 8, 1961; Sep. 17, 1963.
116. Saito T. & Tada M., Device for Dispose of Combustible Wastes, -- Japan 3925 175. Apr. 27, 1963; Sep. 28, 1964.
117. Physical, Chemical and Microbiological Methods of Solid Waste -- Testing. US. EPA. Office of Research and Monitoring. Cincinnati. May. 1973.
118. Bird R.B., Stewart W.E. & Lightfoot E.N. Transport Phenomena. John Wiley & Sons Inc. 1969.
119. Kunii D. & Levenspiel O., Fluidization Engineering. John Wiley & Sons Inc. 1969.
120. Klee A. et al., Decision Trees in Solid Waste Planning Public -- Works Magazine, 1969.