

25



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
A R A G O N

OBTENCION DE GAS METANO A PARTIR DE LA
BASURA DE LA CENTRAL DE ABASTOS
CAPITALINA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICO

P R E S E N T A

ANDRES DANIEL HERNANDEZ MARTINEZ

DIRECTOR DE TESIS. M. en I. ALBERTO REYES SOLIS

276466

MEXICO, D. F.,

2000.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

HONORABLES MIEMBROS DEL JURADO

PRESIDENTE : M. en C. DANIEL ALDAMA AVALOS
VOCAL (DIRECTOR DE TESIS): M. en I. ALBERTO REYES SOLIS
SECRETARIO : ING. ALFREDO VELASCO RODRIGUEZ
PRIMER SUPLENTE : ING. ULISES MERCADO VALENZUELA
SEGUNDO SUPLENTE : ING. JOSE LUIS GARCIA ESPINOZA

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Vicente Borja Ramírez, del Programa de Apoyo a Titulación, por su orientación y constante supervisión para la realización de esta tesis.

A Fanny y Ernesto, compañeros de elaboración de este trabajo.

Al Ing. Francisco Javier González Teran por su desinteresada ayuda para el inicio de este trabajo.

Al Ing. Juan Alazañez Mendoza, por el apoyo recibido.

Al Sr. Luis Olmos Roa por impulsarme a la conclusión de la tesis.

A los miembros del jurado por sus aportaciones a la revisión del manuscrito.

A mis padres por brindarme los estudios y apoyos necesarios.

A mi esposa por apoyarme en todo momento.

DEDICATORIA

A mis padres Porfirio y Evangelina por inculcarme los principios necesarios para ser una persona y profesionista digno de su amor y confianza.

A mi esposa Gloria Emma que, con su presencia, me impulsa ha superarme y sentirme un padre digno de mi familia.

A mis hijos Saul y Daniela por ser mi inspiración que conduce mi vida.

ÍNDICE

	Página
Resumen.....	4
Capitulo 1. Introducción Residuos Sólidos: Una Consecuencia de la Vida.....	5
Capitulo 2. Objetivos.....	8
Capitulo 3. Antecedentes.	
3.1. Problemática de la basura.....	9
3.2. Clasificación y composición de los residuos sólidos.....	10
2.3. Destino final de la basura.....	14
Capitulo 4. Clasificación y Tipo de Biodigestores.	
4.1. Introducción.....	16
4.2. Factores que influyen en la producción de biogas.....	17
4.3. Etapas del proceso de digestión anaerobio.....	18
4.4. Tipos de biodigestores.....	20
4.5. Uso de los biodigestores en el mundo.....	21
Capitulo 5. Planteamiento del Problema.	
5.1. Central de Abasto (CEDA).....	23
5.2. Generación de basura en la CEDA.....	24
5.3. Manejo actual de la basura en la CEDA.....	25
Capitulo 6. Diseño de la Planta Generadora de Biogas.	
6.1. Diseño conceptual.....	29
6.2. Descripción de la planta.....	31
6.3. Diseño del biodigestor.....	33
6.3.1. Selección del biodigestor.....	33
6.3.2. Producción requerida.....	35
6.3.3. Calculo del volumen del biodigestor.....	36
6.3.4. Cantidad de desechos requeridos por el biodigestor.....	37

6.4. Planta para la producción de biogas.....	43
Capitulo 7. Estudio de Factibilidad.	
7.1 Estudio de costo.....	45
Capitulo 8. Conclusiones.....	50
Anexo 1.	52
Anexo 2.....	52
Anexo 3.....	53
Anexo 4.....	60
Glosario.....	62
Bibliografía.....	64

Resumen

La presente tesis se desarrolla con la finalidad de darle una solución a la Problemática de la Generación de Desechos Orgánicos en la Central de Abastos de la Ciudad de México.

La solución que se propuso al Sr. Jesús Vallejo Ezequiel, Director de operación de la Central de Abastos de Iztapalapa, es: La Construcción de una planta Generadora de Biogas que Utiliza el Desecho Orgánico Producido por la CEDA, mediante una Fermentación Anaerobica y que Genera un Subproducto.

Se da información General sobre los Principales aspectos Biológicos y Técnicos en el Funcionamiento de los biodigestores y se describe alguno de los Modelos más comunes.

Se explica que es el Biogas, como se Produce, en que Consiste una Planta de Biogas incluyendo su Diseño y Operación, y cuales son los beneficios derivados de su utilización.

El Trabajo elaborado contiene una extensa investigación en el campo de la producción de Biogas y el uso de Biodigestores por parte de diferentes Instituciones como son: Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Universidad de Jalapa , Instituto Nacional de Investigaciones de Recursos Bióticos (INIREB), etc.

1. INTRODUCCION.

RESIDUOS SÓLIDOS: UNA CONSECUENCIA DE LA VIDA.

En tiempos remotos, la evacuación de residuos humanos no planteaba un problema significativo, ya que la población era pequeña y la cantidad de terreno disponible para la asimilación de los residuos era grande.

Los problemas de la eliminación de residuos pueden ser trazados desde los tiempos en los que los seres humanos comenzaron a congregarse en tribus, aldeas y comunidades, y la acumulación de residuos llegó a ser una consecuencia de la vida.

El almacenamiento inapropiado de la basura lleva a la reproducción de ratas, pulgas, moscas y otros bichos transmisores de enfermedades al ser humano, como sucedió con las epidemias que mataron a la mitad de los europeos del siglo XIV (Defis, 1989).

Fenómenos ecológicos, tales como la contaminación del aire y del agua, han sido atribuidos también a la gestión inapropiada de los residuos sólidos. Por ejemplo, el líquido de basureros y vertederos mal diseñados, contamina las aguas superficiales y subterráneas.

Aunque la naturaleza tiene la capacidad de diluir, extender, degradar, absorber o, de otra forma, reducir el impacto de los residuos no deseados en la atmósfera, en las vías fluviales y en la tierra, han existido desequilibrios ecológicos allí donde se ha excedido la capacidad de asimilación natural.

Por lo anterior es que se han desarrollado distintas estrategias para el manejo y almacenamiento de la basura con el fin de proteger tanto al medio ambiente como

a la salud pública. En un principio se optó por eliminar la basura concibiéndola como un material de desecho sin ningún valor, entonces se crearon los tiraderos y posteriormente los rellenos sanitarios. Pero la situación ahora es distinta ya que a la basura se le ve como una fuente de materiales y energía útiles. Actualmente el énfasis se pone en la recuperación de los contenidos energéticos, y uso como fertilizantes de los residuos sólidos.

Con respecto a la recuperación, existen materiales como el plástico, vidrio, papel, cartón, aluminio, etc. que se pueden reciclar con lo que se consiguen considerables ahorros económicos, pero sobre todo se disminuye el impacto ambiental

También se han aprovechado desperdicios de origen orgánico para obtener fertilizantes y alimento para ganado. Con respecto a la obtención de energía, existen plantas generadoras de electricidad que aprovechan el poder calorífico de la basura, e inclusive se han aprovechado residuos orgánicos para la obtención de combustibles alternativos a los derivados del petróleo como alcohol o gas metano.

En vista de lo anterior es que se deben buscar soluciones que permitan una adecuada gestión de residuos, teniendo siempre en mente que la basura no es algo inútil, ya que procesándola adecuadamente se pueden obtener tanto materiales (fertilizantes) como energía (gas natural) que puede ser fuente de riquezas, trabajo, y bienestar social.

Esta tesis propone un sistema de generación de gas metano a partir de los residuos sólidos orgánicos que diariamente se desechan en la Central de Abasto (CEDA) de la Ciudad de México. El gas así obtenido puede usarse como combustible para abastecer distintos lugares de la misma CEDA.

La finalidad de la tesis es llevar a cabo una investigación referente a la generación de biogas por medio de biodigestores, diseñar un sistema, así como sus componentes y estimar la factibilidad de llevar a cabo dicho sistema.

Para lograr lo anterior, el presente trabajo se divide en los siguientes capítulos:

Capítulo 1: Introducción. Se manifiesta la importancia de aprovechar la basura como una forma de proteger la salud pública y el medio ambiente. **Capítulo 2:** Objetivos. Finalidad de esta tesis. **Capítulo 3:** Antecedentes. Se establece la problemática generada por los diferentes tipos de basura que se producen. **Capítulo 4:** Clasificación y tipo de biodigestores. Se define el concepto de biodigestor, se clasifican y se explica su funcionamiento así como la forma en que se usan para la obtención de gas metano. **Capítulo 5:** Planteamiento del problema. Se establece la forma en que se generan los residuos sólidos en la Central de Abasto (CEDA) con la finalidad de establecer alguna alternativa de aprovechamiento de los mismos y contar con la información que permita la realización de un sistema para obtener gas metano a partir de la basura orgánica. **Capítulo 6:** Diseño conceptual del sistema. Se especifican los diferentes componentes que intervendrán en la solución del sistema, así como su interrelación. **Capítulo 7:** Estudio de factibilidad. Se especificará la infraestructura, equipos, materiales y elementos administrativos que se requieren para una Planta Generadora de Biogas y, también, un estudio sobre en que tiempo se recuperaría la inversión; así para poder determinar la factibilidad de llevar a cabo el diseño planteado. **Capítulo 8:** Conclusiones. Evaluación del trabajo desarrollado y se enumeraran sus contribuciones.

2. OBJETIVOS.

1. Recopilación de información para una posible aplicación sobre la generación de gas por medio de biodigestores en la CEDA.
2. Diseñar un sistema que utilice la basura generada en la Central de Abasto, para obtener gas natural.
3. Especificar los componentes esenciales del sistema.
4. Describir una Planta Generadora de Biogas que incluya al sistema diseñado.
5. Estimar la factibilidad para llevar a cabo el sistema propuesto.

3. ANTECEDENTES.

3.1. PROBLEMÁTICA DE LA BASURA.

En el mundo se generan diariamente alrededor de 4 millones de toneladas de basura doméstica, urbana e industrial, que con una densidad media de 200 Kg/m³, equivale a 20 millones de metros cúbicos (Aguilar,1991). Solo un 30% de estos residuos se trata y el resto ya constituye un serio problema ecológico, higiénico, sanitario, político, social y económico, ya que el costo de la recolección, transporte y eliminación es cada vez mayor.

El crecimiento demográfico así como el desarrollo de la industria y el comercio han influido, entre otros factores, de manera significativa sobre la degradación del medio ambiente. Los problemas generados por el incremento continuo de los residuos sólidos (basura) son quizá de los más conocidos en México.

En el Plan Nacional de Desarrollo (1995-2000) y en diversos niveles gubernamentales, se reconoce el rezago existente en la Ciudad de México para tratar los residuos urbanos; asimismo, de los problemas de mortandad entre la población debido a aquellos. También, en el Plan Nacional de Desarrollo se reconoce el incremento constante de los costos de operación para el manejo de los residuos sólidos y, por tanto, la insuficiencia de los presupuestos, principalmente a nivel municipal.

El problema de la basura en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) es de tal magnitud que se generan cerca de 23 mil toneladas diarias, lo cual quiere decir que bastarían sólo 10 días para llenar de desperdicios el Estadio Azteca.

De lo anterior concluimos que es necesario reducir la cantidad de basura, y una manera de lograrlo es considerar que gran parte de los residuos generados son reutilizables.

Por tal motivo se ve la importancia de una propuesta como la de generación de gas metano a partir de la basura, ya que ésto plantea como disminuir los desperdicios arrojados al medio ambiente y la reducción de los costos operativos del transporte de basura, ya que gran parte de ella bien podría ser procesada en el lugar donde se produce. Esto último es de consideración y más si tomamos en cuenta que entre un 70 a 80% de los costos operativos de manejo de la basura son de transporte (Aguilar, 1991).

3.2. CLASIFICACIÓN Y COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.

Los residuos sólidos son los subproductos inevitables de las actividades humanas y se producen en lugares tan distintos como el hogar, industria, comercio, transporte, campo, etc.

La clasificación de estos residuos es una tarea que cada ciudad o municipio tiene que realizar por medio de muestreos anuales; ésto es indispensable para el diseño de la solución del problema de los desperdicios sólidos en general.

Hay diferentes maneras de clasificar los residuos. Según su composición se dividen en:

Orgánicos: son aquellos cuyo componente principal es el carbono. Proviene de materia viva tanto vegetal como animal y están representados principalmente por residuos alimentarios, y de parques o jardines. Pueden transformarse para su posterior reutilización como composta o combustible (metano o alcohol).

Inorgánicos: es materia inerte proveniente de material no vivo. Tiene la característica de no ser biodegradable, por lo que conserva su forma y propiedades por mucho tiempo. Materiales como plástico, aluminio, vidrio, etc., pueden utilizarse como materia prima o subproducto reciclable en diferentes industrias (Aguilar, 1991).

Otra clasificación útil de los residuos, es la que hace hincapié en su origen; es decir, el lugar donde se generan. Así tenemos que hay desechos domésticos, industriales, agropecuarios, agroindustriales y especiales.

Los residuos, según su posible utilización posterior, se clasifican en:

Reciclables o recuperables. Son aquellos que si son seleccionados o “rescatados” de la basura pueden venderse a diferentes industrias, las que mediante tratamientos diversos, los utilizan como materia prima, reintegrándolos posteriormente al ciclo de consumo. Entre estos desperdicios tenemos: trapo, cartón, papel, metal, vidrio, plástico, etc.

No recuperables nocivos. Comprende los desperdicios provenientes de hospitales, casas de cuna, sanatorios, etc. Pueden ser muy peligrosos y se les debe de dar un tratamiento muy especial.

No recuperables inertes. Son aquellos que pueden servir como material de relleno: tierra, piedras, cascajo, etc.

Transformables. Son aquellos susceptibles de ser transformados en productos no dañinos y aprovechables, están referidos principalmente a los orgánicos: residuos alimentarios, agrícolas o industriales. Son los residuos orgánicos los que se utilizan para la generación de gas metano.

La generación de residuos es muy variable y está directamente relacionada con los hábitos de consumo y con el desarrollo económico; sin embargo, en términos generales, el mayor porcentaje de residuos sólidos producidos corresponde a materia orgánica. La figura 3.1 muestra la composición de los residuos generados en la Cd. de México (Dirección General de Infraestructura y Equipamiento, 1996).

COMPOSICION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES EN MEXICO 1995

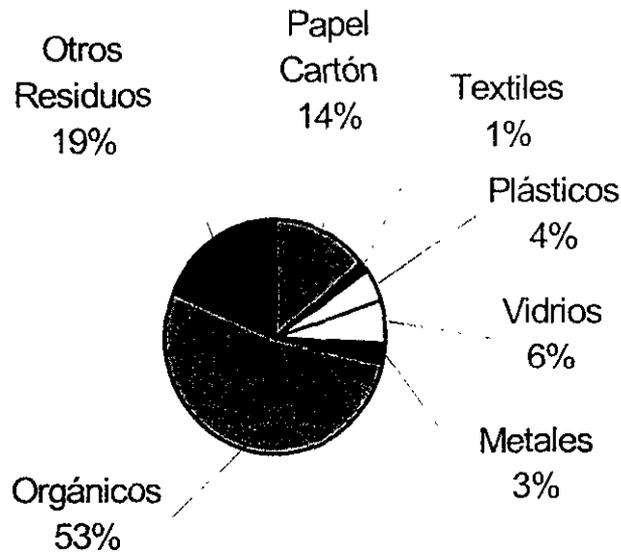


Figura 3.1.- Composición de los residuos sólidos municipales generados en México en 1991 (Aguilar,1991).

La figura 3.1. muestra que el mayor porcentaje de residuos sólidos generados en México en 1995 corresponde a los desperdicios orgánicos. Por tal motivo es

necesario encontrar una solución al manejo y procesamiento de dichos residuos. Es importante destacar que por su naturaleza orgánica son los residuos más apropiados para la generación de gas metano.

3.3. DESTINO FINAL DE LA BASURA.

La disposición final de los residuos sólidos es un aspecto inevitable de su manejo. Por años se han usado algunos de los siguientes métodos:

a) **Tiraderos a cielo abierto.** Es el método más utilizado en nuestro país, debido a que es el más económico. Consiste en depositar los desechos en un lugar y dejarlos ahí sin que se ejerza sobre ellos control o prevención alguna. Estos tiraderos pueden ser clandestinos o municipales. Los primeros son frecuentes en los asentamientos pequeños de baja densidad de población, así cualquier lote baldío puede convertirse en un tiradero clandestino. Los tiraderos municipales existen en todos los asentamientos medios y grandes del país.

b) **Entierros controlados.** Este método consiste en hacer una excavación en algún sitio que se escoge de acuerdo con la disponibilidad del terreno de una localidad, procurando que esté fuera de la mancha urbana y que tenga un acceso libre en todas las épocas del año. Ahí se depositan los residuos sólidos y, cuando se termina la capacidad del sitio, se cubre con tierra y se busca otro para el mismo propósito (Aguilar, 1991).

c) **Rellenos sanitarios.** En los últimos años se ha desarrollado la tecnología de los rellenos sanitarios, que básicamente consisten en propiciar la degradación aeróbica de los residuos, eliminando el espesor y grado de compactación de los mismos para obtener compuestos estables. También previene la proliferación de

la fauna nociva, pues los residuos que llegan allí se cubren con una capa de tierra, para evitar, al mismo tiempo, los efectos del viento, los malos olores y el mal aspecto. Uno de los problemas con los rellenos sanitarios es que los líquidos de la basura se infiltran en la tierra pudiendo contaminar los mantos freáticos.

De las disposiciones finales de residuos sólidos que se han mencionado, se establece la falta de un procedimiento para su disposición final, con el cual se podría obtener además de un control ambiental una fuente alternativa de energía. O sea, se puede reducir la contaminación ambiental, se reduce el volumen de residuos que se depositan en tiraderos o rellenos sanitarios y se puede obtener una fuente de energía como lo es el gas metano (biogas).

En el siguiente capítulo se hará mención de un proceso anaerobio en el cuál se obtiene biogas a partir de desechos orgánicos. Posteriormente, en el capítulo 4 se establece la problemática de la generación de residuos orgánicos en la CEDA, de la Ciudad de México, para después buscar alguna solución y encontrar la manera más eficiente para el aprovechamiento de esos residuos en la generación de gas metano.

4. CLASIFICACIÓN Y TIPO DE BIODIGESTORES.

4.1. INTRODUCCIÓN.

Una alternativa para el aprovechamiento de la energía de desechos orgánicos es la fermentación, llevada a cabo en cámaras cerradas llamadas Digestores o Biodigestores, por la acción de bacterias capaces de vivir sin oxígeno, denominadas bacterias anaerobias (a esta acción se le denomina proceso anaerobio).

El biodigestor es un recipiente herméticamente cerrado sin aire en su interior en el cual se lleva a cabo la fermentación de desechos orgánicos. La fermentación es producida por bacterias anaerobias. De esta fermentación se obtiene biogas (para ver la composición de este gas consultar el anexo 1). El biogas contiene entre un 55 a un 70 % de metano; debido a este porcentaje de metano, al biogas se le considera como combustible.

Algunas de las ventajas de la fermentación anaerobia son: producción de metano, el residuo se utiliza como fertilizante, y se tiene control sobre el problema de la basura, olor y peste. Sin embargo, el proceso de digestión anaerobia presenta algunos problemas: el gas producido está saturado de agua, es corrosivo y su manejo debe ser con gran seguridad.

En los biodigestores la materia orgánica se descompone casi por completo, produciendo agua enriquecida con nitratos y fosfatos, empleados como fertilizantes y un gas combustible el cual contiene más del 60% de metano, CH₄.

4.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS.

Existen varios factores que afectan la producción de metano en un biodigestor: la biodegradabilidad, temperatura de digestión, tiempo de retención en el biodigestor, el potencial de hidrógeno, la alcalinidad, mezclado, afluente de los sólidos volátiles, proporción de carga, etc. Los factores más importantes son:

Biodegradabilidad. Se refiere a que los desechos orgánicos introducidos al biodigestor contengan todos los nutrientes requeridos para que las bacterias crezcan y se multipliquen. Estos nutrientes son: nitrógeno, fósforo, carbono, azufre, potasio, sodio, calcio, magnesio y hierro.

Tiempo de Retención. Periodo de tiempo que los desechos orgánicos deben permanecer dentro del biodigestor. Según estudios realizados (Instituto Tecnológico de Zacatepec, 1991) el tiempo óptimo para que se produzca la mayor cantidad de biogas es de 20 días. Es importante que el tiempo de retención no sea excesivo, ya que después del tiempo óptimo disminuye considerablemente la producción de biogas y nada más se tendrían desechos orgánicos ya tratados dentro del biodigestor sin ningún aprovechamiento. Pero también, el tiempo no debe ser corto, ya que habría desechos orgánicos deficientemente tratados, debido a un corto contacto con las bacterias.

Temperatura de Digestión. A pesar de que la generación de metano puede llevarse a cabo dentro de un rango de 5 a 65°C, es óptimo en el rango de 35 a 55 °C. Aunque a mayor temperatura, la velocidad de reacción es máxima y el tiempo de retención se disminuye, los rendimientos energéticos son más bajos debido a las necesidades caloríficas para mantener al biodigestor a 55°C (Young, 1986).

Potencial de Hidrógeno (pH). Este factor debe mantenerse entre 7.3 a 8 para una óptima producción de biogas. O sea, si el pH varía de este rango, se llevará a cabo una producción de biogas con concentraciones bajas en metano. Esto propiciaría, que ya no se considerará como combustible. En desechos vegetales el factor de pH varía considerablemente. Por lo tanto es importante llevar a cabo mediciones de pH (con un potenciómetro manual o de laboratorio).

Alcalinidad. Es un parámetro para detectar problemas en el funcionamiento del biodigestor. La alcalinidad determina la capacidad del biodigestor de poder neutralizar un aumento de ácidos grasos en el medio (cuando existe un exceso en ácidos grasos ocasiona una disminución en la producción de biogas rico en metano); además, con una baja alcalinidad se provoca una disminución del pH.

De acuerdo a lo descrito sobre el pH y la alcalinidad, se determina que están relacionados.

Mezclado. Es importante llevar a cabo un mezclado de los desechos orgánicos dentro del biodigestor. Esto con la finalidad de tener una temperatura uniforme dentro del biodigestor y una dispersión de los desechos orgánicos entrantes a lo largo del volumen del biodigestor, minimizando la acumulación de partículas sólidas.

4.3. ETAPAS DEL PROCESO DE DIGESTIÓN.

El proceso de fermentación dentro de un biodigestor se lleva a cabo por diferentes tipos de bacterias (ver anexo 2) y se divide en tres etapas: a) licuación de la materia orgánica, b) formación de ácidos volátiles y c) formación de metano. En la figura 4.1 se muestran las tres etapas de fermentación (Baquedano, 1979).

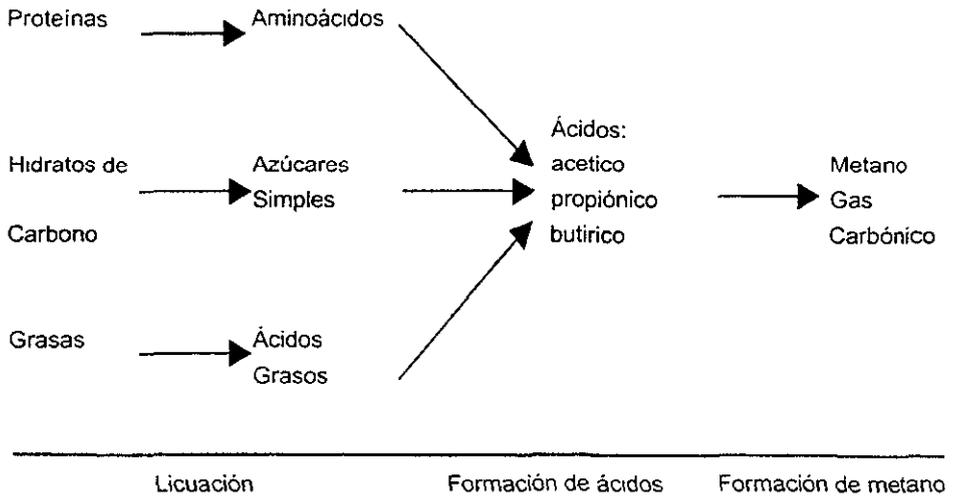


Figura 4.1 Etapas de la fermentación.

Como se ilustra en la parte izquierda de la figura 4.1, la materia orgánica (proteínas, hidratos de carbono y grasas) son fermentadas por bacterias, formando monómeros (aminoácidos, azúcares simples y ácidos grasos) fácilmente fermentables. Posteriormente, por la acción de las bacterias acetogénicas, los ácidos grasos, los aminoácidos y las azúcares simples se transforman en ácidos (acético, propiónico y bórico). Y un tercer grupo de bacterias que son la metanogénicas, utilizan estos ácidos, para producir metano.

4.4. TIPOS DE BIODIGESTORES.

Los biodigestores se clasifican de acuerdo a su diseño en horizontales y verticales. Conforme al sistema de abastecimiento de los desechos orgánicos, los biodigestores se dividen en: de carga continua, de carga semicontinua o de carga discontinua.

Los de carga continua son aquellos, como su nombre lo dice, en los que la alimentación es continua, es decir, sin interrupciones; mientras que los semicontinuos son aquellos en los que la alimentación se realiza en tiempos de 12 a 24 hrs. Los biodigestores discontinuos son en los que la alimentación se lleva a cabo en periodos de 30 a 60 días (Young,1986).En la tabla 4.1 se muestran los diferentes tipos de biodigestores.

Según Diseño	Según Proceso		
	CONTINUO	SEMICONTINUO	DISCONTINUO
VERTICAL	Vertical Continuo	Vertical Semicontinuo (tipo HINDÚ)	Vertical Discontinuo
HORIZONTAL	Horizontal Continuo	Horizontal Semicontinuo (tipo INIREB)	Horizontal Discontinuo

Tabla 4.1. Tipos de biodigestores (adaptado de Baquedano,1979)

4.5. USO DE LOS BIODIGESTORES EN EL MUNDO.

La India es un ejemplo de los países en vías de desarrollo que usan biodigestores. En este país, 620 millones de habitantes (75% de la población) viven en zonas rurales donde sólo un 15% de los pueblos tienen suministro eléctrico (Mandujano,1981).

Tradicionalmente el estiércol de vaca se quema para cocinar alimentos. La fuente de energía que representa el biogas es tan interesante, que es prioritaria en la política energética de la India. Se han puesto en marcha investigaciones fundamentales y aplicadas, en particular en el "Biochemical Engineering Research Center" del "Institute of Technology" en la India por el profesor T.K. Ghose (Baquedano,1979). El "Gobar Gas Scheme" organismo de desarrollo y divulgación, presta ayuda técnica a los productores de biogas, se conceden créditos para la construcción de biodigestores.

En Europa Occidental, el método de la metanización se presenta bajo un aspecto diferente. En Francia, por ejemplo, el procedimiento vuelve a suscitar un gran interés a pesar de que en determinado tiempo se abandonaron unas 2000 instalaciones. La producción de biogas ha mejorado a partir del uso de estiércol como desecho orgánico por medio del procedimiento discontinuo, obteniendo como resultado la producción aproximada 0.45 m^3 de gas (0.23 m^3 de CH_4) por kilo de materia seca, es decir, que con 30 bovinos o 500 cerdos se pueden satisfacer las necesidades de una explotación agrícola mediana.

El desarrollo de la metanización se ve actualmente limitado por la falta de industriales que fabriquen biodigestores eficaces. Se estudia la posibilidad de utilizar la metanización en continuo, aplicada hasta el momento a los materiales de carga orgánica pobre (efluentes urbanos o agroindustriales), a los residuos

como el estiércol. Aplicada a los efluentes agroalimentarios, permite obtener 0.60 m³ de gas con un 60% de metano por kilogramo de materia orgánica.

En México se realizan cada vez más esfuerzos para el desarrollo de biodigestores. Por ejemplo en el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE-Cuernavaca) se investiga la generación de gas metano a partir de algunos vegetales (Instituto Tecnológico de Zacatepec,1991), y en la Universidad Veracruzana de Xalapa se encuentra en desarrollo un proceso anaeróbico y aeróbico para la obtención de biogas y fertilizante (composta) a partir de la basura generada en la propia Universidad (Castillo,1999)

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

5.1. CENTRAL DE ABASTO (CEDA)

La Central de Abastos (CEDA) de la Ciudad de México fue inaugurada en 1982 con el propósito de lograr una mayor eficiencia en la comercialización de los productos perecederos y asegurar el abasto alimentario básico de más de 15 millones de habitantes de la Zona Metropolitana.

El constante desarrollo de la CEDA ha dotado a la Ciudad de México del centro de acopio y comercialización al mayoreo de productos hortifrutícolas más grande del país. En ella se comercializan diariamente 17 mil toneladas de frutas y hortalizas que significan 40% de la producción nacional y 80% del consumo de estos productos en el Distrito Federal, y 4 mil toneladas de abarrotes. Como una muestra de la magnitud de la CEDA se presenta la tabla 5.1.

Tabla 5.1. INDICADORES BASICOS

Area Total	328 Hectáreas (incluyendo el mercado de mariscos)
Area de Reserva	121 Hectáreas
Area construida	145.5 Hectáreas
Zona de Servicios Complementarios	61.6 Hectáreas
Area de subasta de productos	10.3 Hectáreas con capacidad para 624 trailers
Zona de Pernocta	6.5 Hectáreas con capacidad de 300 vehículos
Bodegas	2,000 Unidades
Bodegas de frutas y legumbres	1,650 Unidades
Bodegas de abarrotes y víveres	350 Unidades

Capacidad instalada de almacenamiento	155,000 Toneladas
Bodegas frutas y legumbres	114,000 Toneladas
Bodegas abarrotes y viveres	41,000 Toneladas
Capacidad del frigorífico	1,500 Toneladas
Número de Comerciantes	5,000
Locales Comerciales	1,317
Destino de los productos área metropolitana	87.50%
Recolección de basura por día	875 toneladas
Dos plantas de transferencia de basura	800 toneladas c/u
Vehículos de abasto por día	2,500
Vehículos de desabasto por día	6,000
Estacionamientos	30.4 Hectáreas
Población Fija	85,000 personas
Población flotante	270,000 personas por día.

5.2. GENERACION DE BASURA EN LA CEDA.

La CEDA hoy en día genera alrededor de 875 toneladas/diarias de basura en sus diferentes áreas, siendo los residuos orgánicos los que en mayor porcentaje se presenta, según el Sr. Jesús Vallejo Esquivel, Director de Operaciones de la CEDA (Defis,1989).

En la tabla 5.2 se muestra la cantidad de basura generada por día en la CEDA, así como el porcentaje de restos orgánicos.

Tabla 5.2. Tipos y cantidades de desechos generados en la CEDA.

Tipo de desecho	Toneladas / día	Porcentaje de Orgánico (%)	Toneladas de Orgánico
Flores y Hortalizas	560	90	504
Frutas y Legumbres	228	80	182.4
Abarrotes y Viveres	35	0	0
Subasta	17	88	14.96
Mercado de Jamaica	12	67	8.04
Envases Vacíos	11	0	0
Vialidades internas	6	0	0
Vialidades externas	4	90	3.6
Estacionamiento	2	0	0
TOTAL	875	81.5	713

5.3. MANEJO ACTUAL DE LA BASURA EN LA CEDA.

Las cifras de la tabla 5.2 reflejan la importancia de aprovechar al máximo los residuos generados en la CEDA, ya que tal cantidad (875 toneladas por día) causa problemas tanto de sanidad como de colecta y transporte.

A continuación, en la figura 5.1 se explica la forma como son tratados actualmente los desechos en la CEDA hasta su disposición final.

a) En las bodegas y mercados se genera cierta cantidad de basura que los mismos dueños y locatarios llevan a los contenedores para su recolección por parte del departamento de mantenimiento de la CEDA.

b) Cuando la basura se encuentra en los contenedores o en las vías públicas los pepenadores recolectan alimentos para uso domestico y/o para ganado, así como vidrio, madera, metal, cartón, plástico, etc.. Uno de los principales problemas que afecta esta recolección es que se desperdiga la basura en las vías externas.

3. El área de mantenimiento de la CEDA se encarga de conservar limpias las diferentes zonas y para ello cuenta con 6 trascabos, 18 camiones, 320 trabajadores y 2 turnos. Esta es una labor difícil pues no hay una reglamentación sobre la forma de manejar los residuos, mucho menos una cultura para mantener un orden en este aspecto.

4. Todo lo que se recoge es transportado al área de transferencia, que además son depositarias de basura las Delegaciones de Iztapalapa e Iztacalco. Lo que se hace es depositarla en camiones con capacidades grandes y llevarla hacia los llamados rellenos sanitarios.

En la figura 5.1 se muestra el diagrama del manejo de la basura.

La basura orgánica producida por la CEDA como ya hemos mencionado alcanzan las 713 toneladas diariamente. Debido a su cantidad, resulta atractivo darle diferentes usos como puede ser la generación de biogas.

Es por ello que esta tesis plantea la posibilidad de llevar a cabo una planta generadora de biogas en la CEDA que tenga como objetivo el de contribuir al saneamiento general de la misma, al utilizar los desechos orgánicos que genera.

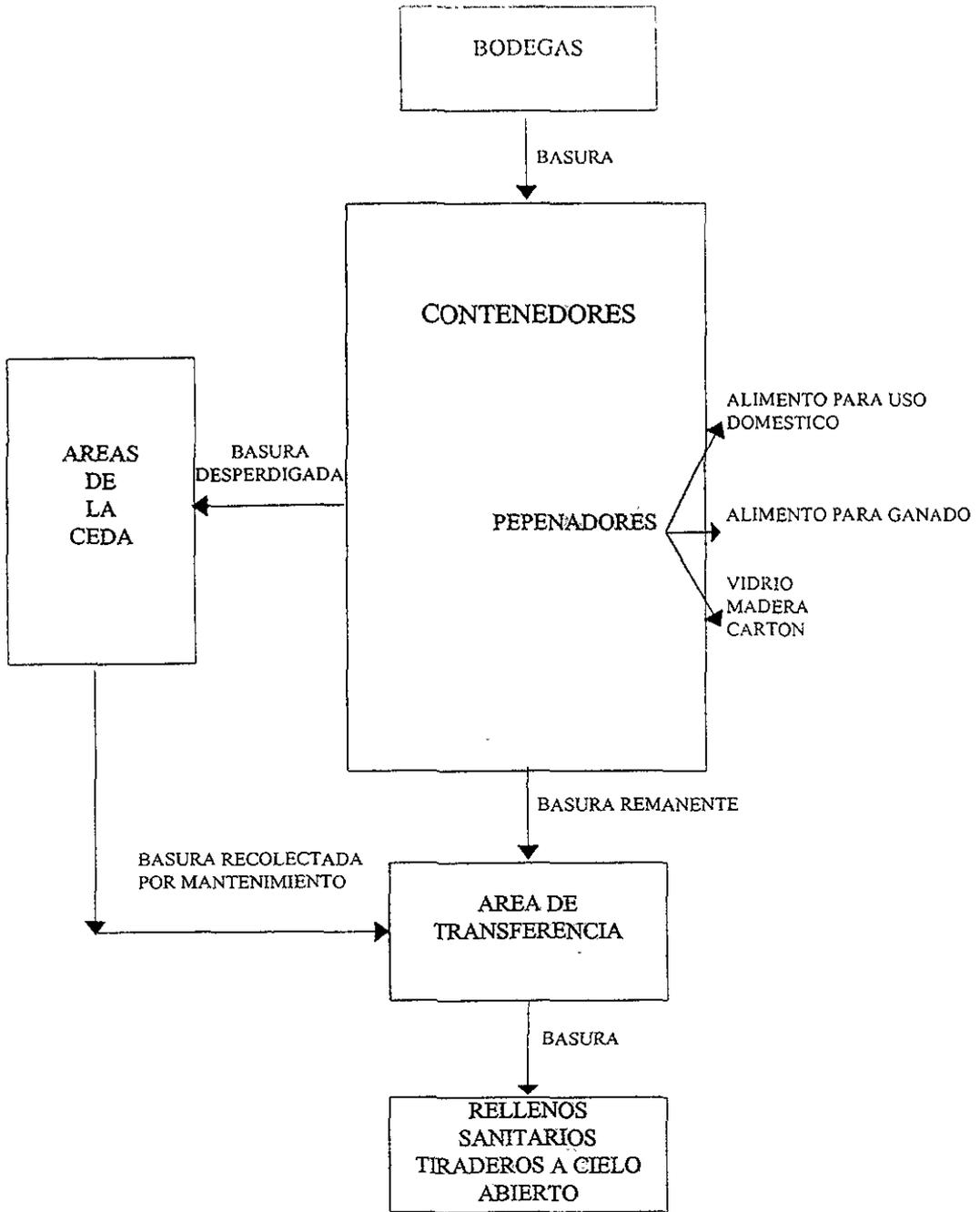


Figura 5.1 Manejo actual de la basura en la CEDA.

La utilización comercial del biogas producido con los desechos de la CEDA, puede incluir: uso domestico, combustible en vehiculos automotores o utilizando una planta de generación de electricidad, etc. Además un aspecto muy importante es la *obtención de un subproducto residual de la producción de biogas rico en minerales* que permite su utilización como fertilizante orgánico.

6. DISEÑO DE LA PLANTA GENERADORA DE BIOGAS.

Introducción

Como se mencionó en el capítulo 5, el problema de la generación de basura en la CEDA es bastante serio por las consecuencias al deterioro del medio ambiente. Por tal motivo, se propone una alternativa de solución: el diseño de una planta generadora de biogas, la cual operara utilizando los desechos orgánicos que en la CEDA se producen.

En este capítulo y en la figura 6.1 se especifica cada uno de los elementos que integran la planta generadora de biogas y que son los siguientes:

1. Captador de desechos
2. Tolva
3. Prensa hidráulica
4. Banda de malla
5. Mezclador
6. Biodigestor
7. Compresor de biogas
8. Almacenadora de biogas
9. Infraestructura para su distribución.

6.1. DISEÑO CONCEPTUAL

La figura 6.2 muestra un diagrama de bloques del proceso de obtención de biogas. El proceso se explica a continuación: la basura recolectada (material de trabajo) se introduce en una tolva o captador que enseguida se conduce a una prensa que extrae el jugo o lixiviado. Antes de llegar al biodigestor se retiran los

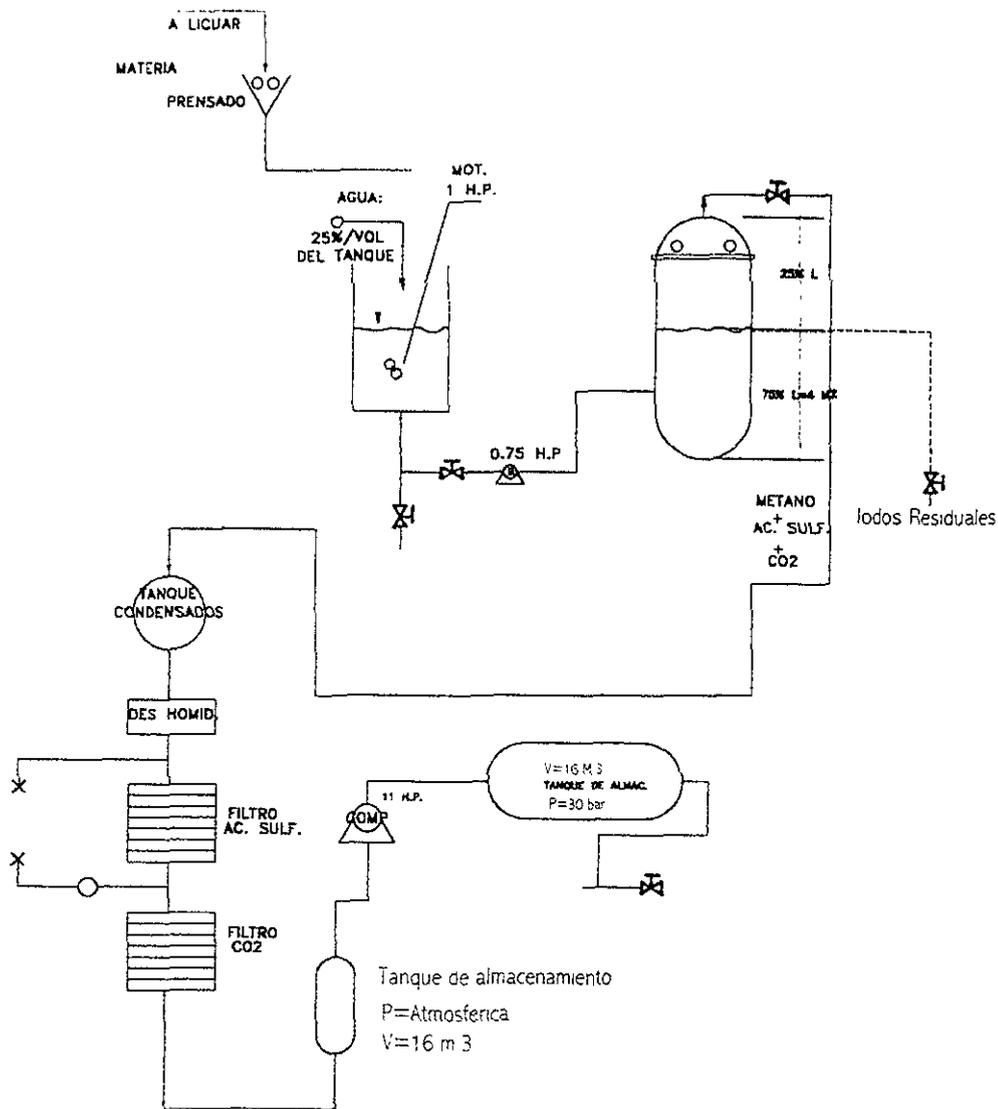


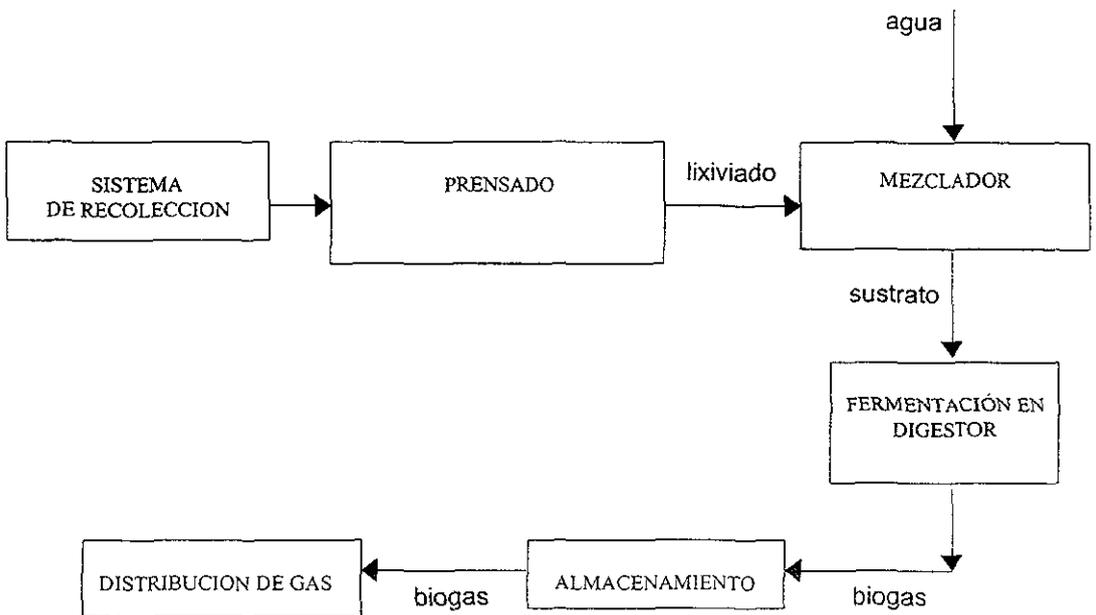
Fig.6 1 Diagrama del proceso de generacion de biogas.

desechos sólidos que aún contenga el lixiviado mediante una banda de malla. Por gravedad el lixiviado se lleva a un mezclador para homogeneizarlo y mediante una bomba centrífuga introducirlo al biodigestor. Después de un tiempo de residencia necesario para llevarse a cabo la biodegradación, se obtiene el biogas que es almacenado en un tanque para su distribución y comercialización.

En el diseño de una planta para la obtención de biogas a partir de desechos orgánicos, es conveniente considerar factores tales como seguridad del área circunvecina, vías de acceso, factibilidad económica, y comercialización del producto.

En la planta, se debe lograr un óptimo aprovechamiento de los recursos, tales como el agua, el suelo, la energía y la materia orgánica.

Figura 6.2. Diagrama del proceso de generación de biogas.



6.2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

En las siguientes secciones de este capitulo 6 se describe la manera como se llevaria a cabo el proceso y las características de los elementos que integran la planta generadora de biogas. En esta sección, el proceso de generación de biogas inicia con la recolección de desechos orgánicos que en la CEDA, se transportan con un camión tipo volteo de una capacidad de 7 m³.

Para la captación de los desechos orgánicos se propone fabricar una rampa cuyas dimensiones deberán contemplar el tránsito del camión, que verterá los desechos orgánicos directamente a una tolva.

Los desperdicios se introducen en una prensa hidráulica que sea capaz de extraer el jugo que será el nutriente o material de trabajo esencial para el proceso, este jugo es lo que se llama lixiviado. Se propone que por gravedad el lixiviado se concentre en un mezclador y la fracción sólida sea retirada por una banda de malla. En este mezclador es donde se encuentra el lixiviado al cual se le agregará agua para obtener una concentración del lixiviado o jugo de 75%, pues en este valor la producción de gas es máxima equivalente a 46.52 lt/hr (Instituto Tecnológico de Zacatepec,1991). Al mismo tiempo, una concentración del 75 %, asegura una distribución homogénea para evitar la formación de natas que perjudican la producción de biogas. El mezclado se llevara a cabo por medio de una aspa accionada por un motor eléctrico.

La cantidad de agua para obtener una concentración de lixiviado de 75% tendrá la temperatura idonea considerando que dentro del biodigestor se debe de trabajar dentro del rango mesofílico, es decir de 20 a 40°C, esto también optimiza el proceso (Instituto Tecnológico de Zacatepec,1991).

Para enviar la mezcla al biodigestor se empleará una bomba centrifuga. Uno de los propósitos es lograr un proceso continuo de producción de gas, y para lograrlo

intervienen factores como el tiempo de residencia y la cantidad de carga suministrada.

Los estudios realizados en el IIE (Arvizu, 1999) demuestran que la mayor producción de gas se logra cuando han pasado 20 días de residencia de la mezcla después de los cuales se dice que es un proceso continuo y se considera como el arranque del proceso.

Bajo esas condiciones en un sistema de carga diaria, como es en este caso, el tiempo de retención o de residencia va a determinar el volumen diario de carga que será necesario introducir al biodigestor, ya que se tiene la siguiente relación:

Volumen del biodigestor (m^3)/tiempo de residencia(días)= volumen de carga

Es decir que para un tiempo de residencia de 20 días, la carga suministrada equivalente a $1/20$ del volumen total que puede almacenar el biodigestor y en promedio la materia orgánica permanecen 20 días dentro del sistema. (Arvizu,1999).

El proceso descrito es el empleado para la generación del biogas, mientras que el tratamiento que se le da a éste para su almacenamiento y distribución se detalla en la sección 6.4.

6.3. DISEÑO DEL BIODIGESTOR

En cuanto a los aspectos técnicos del proceso de generación de biogas se deben de controlar los parámetros más importantes dentro del biodigestor, tales como temperatura, pH, tiempo de residencia, agitación y por ciento de sólidos.

Por otra parte, para poder determinar las dimensiones del biodigestor se requiere de los siguientes parámetros: cantidad de lixiviado que se suministrará en base a lo que se desea producir y también la producción de biogas iniciado el proceso.

6.3.1. SELECCIÓN DE BIODIGESTOR

Existen diferentes tipos de biodigestores (sección 4.4). En base al análisis de los distintos tipos, se seleccionó al biodigestor para el proceso que se desarrolla de acuerdo al tipo y cantidad de desecho disponible, así como los materiales de construcción de que se dispone. Con el objeto de minimizar los costos de la planta, ésta deberá satisfacer los requerimientos de gas de la central de abastos.

Unicamente considerando las necesidades de gas de la CEDA antes mencionadas, el tipo de biodigestor que se seleccionó es hindú vertical y enterrado, de desechos líquidos. Es semejante a un pozo como se muestra en la figura 6.3. Se cargara a través de una bomba centrífuga, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producirá una cantidad diaria constante de biogas si se mantienen las condiciones de operación como se ha mencionado. La entrada de la carga diaria es por medio de una bomba de $\frac{3}{4}$ hp, produce agitación, provocando la salida de un volumen equivalente a la del sustrato entrante.

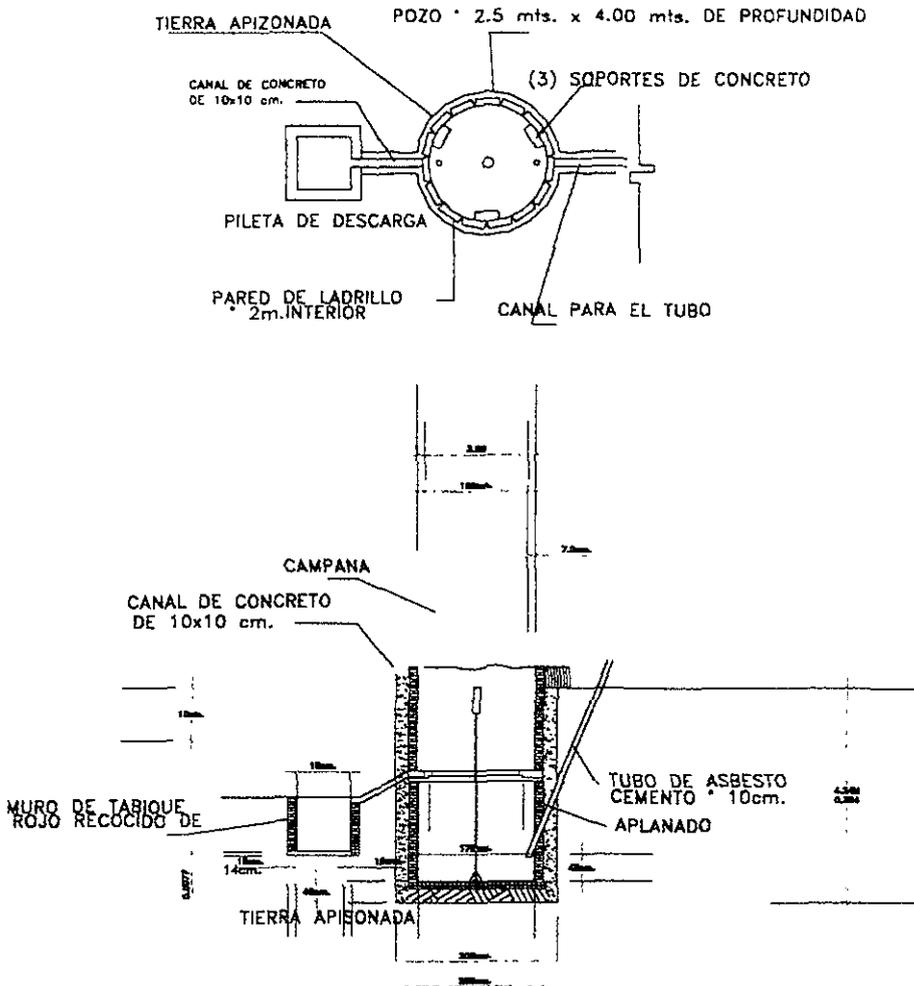


Fig. 6.3 Biodigestor

Ademas, como la CEDA genera suficiente materia prima, es posible diseñar una planta continua para una mayor produccion de gas.

De acuerdo a lo anterior, para diseñar el biodigestor es necesario considerar los siguientes aspectos:

- Para un aseguramiento del proceso de fermentación anaerobia es necesario que el recipiente del biodigestor sea hermético.

- Si tomamos en cuenta que los cambios bruscos de temperatura inhiben el proceso, es conveniente construir al biodigestor utilizando materiales de baja conductividad térmica y, de ser posible, enterrarlo para evitar que en tiempos de frío pierda temperatura el proceso, al igual que calentar el sustrato antes de introducirlo al biodigestor ya que podremos mantener una temperatura constante.

- Se proveerá un sistema de carga y descarga que facilite el régimen de operación continua en una o varias veces al día.

- Se tomarán previsiones para medir temperatura, volumen de gas producido, así como contar con facilidades de muestreo de líquido.

Además de las consideraciones anteriores, para el diseño del biodigestor es necesario especificar lo siguiente:

- 1.- La cantidad de biogas requerida por la central de abastos.
- 2.- La cantidad de biogas producido por los desechos orgánicos que se deseen procesar para calcular el volumen del biodigestor.
- 3.- La densidad del lixiviado que procesará el biodigestor.

Estos tres parametros se estiman a continuación.

6.3.2. PRODUCCION REQUERIDA

Se realizo un estudio en la dirección administrativa de la CEDA para estimar el consumo de gas L.P. de la Central de Abastos. Con el estudio se encontró un total de 300 locales que lo usan, siendo todos ellos del giro alimenticio (cocinas económicas, tortillerías, roscicerías, etc). De esta población se tomó una muestra representativa de 20 locales, para analizar su consumo de gas, el cual se obtuvo cuestionando directamente a la gente que allí labora. Los datos en promedio obtenidos son:

Consumo de gas L.P. durante 30 días por local = 283 litros

De este valor se puede calcular el consumo en volumen (V) de gas L.P. que se necesita para abastecer a los 300 locales, el volumen del gas es :

$$V=300 \text{ locales} \times 283 \text{ (litros de gas/mesxlocal)} = 84\,900 \text{ litros gas LP/mes} \\ = 2.83 \text{ m}^3/\text{día}$$

Sabemos que el gas L.P. tiene un poder calorífico de 28588 Kcal/ m³ (Arvizú 1998) por lo cual :

$$E=(2.83 \text{ m}^3/\text{día}) (28588 \text{ Kcal} / \text{m}^3) = 80904.04 \text{ kcal} / \text{día}$$

Siendo:

E= consumo de energía actual en la CEDA

Debido a que el biogas tiene un poder calorífico de 5335 Kcal/m³ (Arvizu 1989), se hace la siguiente relación para encontrar el volumen del biogas V_b que proporcionara la misma energía que el gas L.P.

$$V_b = (80904 \text{ kcal/día}) / (5335 \text{ kcal/m}^3) = 15.16 \text{ m}^3 / \text{ día de Biogas.}$$

Por lo tanto, el biodigestor deberá producir 15.16 m³ ó 15160 litros de biogas diariamente.

6.3.3. CALCULO DEL VOLUMEN DEL BIODIGESTOR

Según experimentos de laboratorio realizados (Ranade, 1987), la producción de biogas que se obtiene de 25 litros de sustrato (mezcla de lixiviado y agua) es de 17.5 litros diarios.

La necesidad del CEDA es 15160 litros diarios de biogas; por lo tanto para determinar el volumen del sustrato V_s requerido del proceso se tiene que:

$$\frac{25 \text{ litros sustrato}}{V_s} = \frac{17.5 \text{ litros de biogas}}{15160 \text{ litros de biogas}}$$

$$V_s = 21657.14 \text{ litros de sustrato}$$

donde V_s es el volumen del sustrato necesario, que corresponde con el volumen del biodigestor para generar la cantidad de biogas que estamos considerando. Para efectos prácticos se debe construir un biodigestor capaz de almacenar 22 m³

de sustrato pero como se observa en la figura 6.3 se necesita un volumen adicional para el gas producido antes de ser extraido para almacenarlo y comprimirlo, que en este caso se considera de 8 m³ para que almacene aproximadamente la mitad del biogas requerido diariamente. Por lo tanto el biodigestor tendrá un volumen total de 30 m³

6.3.4. CANTIDAD DE DESECHOS REQUERIDOS POR EL BIODIGESTOR.

En un estudio realizado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) a la CEDA de Cuernavaca (Instituto Tecnológico de Zacatepec, 1991) se determinó que de 175 toneladas de desecho orgánico se obtiene una fracción líquida o lixiviado de 87.5 toneladas con un 9% de sólido. Por tal motivo, si el sustrato necesario es 21657.14 litros (V_s) y de una muestra representativa de desecho orgánico resultó una densidad de 1200 Kg/m³ de lixiviado. entonces se tiene que:

$$v = 0.75 V_s$$

$$v = 0.75(21.657 \text{ m}^3) = 16.243 \text{ m}^3$$

$$v = m / \rho$$

donde v = volumen del lixiviado (m³)
 m = masa de lixiviado (Kg)
 ρ = densidad del lixiviado (Kg/m³)

por lo cual

$$m = v \rho$$

$$m = (0.75 \times 21.657 \text{ m}^3)(1200 \text{ Kg/m}^3) = 19491.3 \text{ Kg.}$$

m · 19.5 toneladas de lixiviado

Siendo m las toneladas de lixiviado que se necesitan para el proceso como ya se explicó en la sección 5.2.

De los estudios realizados en el (IIE) a la CEDA de Cuernavaca :

$$\frac{175 \text{ Ton (basura orgánica)}}{y} = \frac{87.5 \text{ Ton (de lixiviado)}}{19.5 \text{ Ton (de lixiviado)}}$$

$$y = 39 \text{ toneladas}$$

Donde y representan las toneladas de basura orgánica que se introducen a la prensa hidraulica de las cuales se obtiene un volumen de lixiviado de 19.5 ton. para el arranque del proceso.

Las 19.5 toneladas de lixiviado que se necesitan, tendrán un periodo de residencia de 20 días. Para lograr un proceso continuo procedemos a calcular la carga y descarga diaria del biodigestor.

$$C = \text{ton de lixiviado/tiempo de residencia} = 19.5 \text{ ton}/20 \text{ días}$$

$$C = 0.975 \text{ toneladas de lixiviado de carga y descarga diaria.}$$

si sabemos que

$$V = m/\rho$$

$$V = (975 \text{ kg})/(1200 \text{ kg/m}^3)$$

$$V = 0.8125 \text{ m}^3 \text{ de lixiviado diario}$$

$$V = 812.5 \text{ litros}$$

Donde V es el volumen de lixiviado con el que se alimentará al biodigestor diariamente.

Este volumen o carga diaria del biodigestor se suministrara paulatinamente durante un periodo de 8 horas a razón de 101.56 litros / hora, con el propósito de que no se presenten problemas de desequilibrio del proceso (Arvizu, 1999).

El estudio realizado por el IIE (Instituto Tecnológico de Zacatepec, 1991) establece que para lograr la máxima producción de biogas, la mezcla debe ser de 75 % de lixiviado más 25 % de agua. Por lo tanto, y recordando que el volumen del lixiviado diario a suministrar es 812 lts., tenemos que :

$$\begin{aligned} \text{agua (25\%)} &= 270.71 \text{ lts.} \\ \text{lixiviado (75\%)} &= 812.25 \text{ lts.} \\ \text{Sustrato (100\%)} &= 1083 \text{ lts.} \end{aligned}$$

Siendo 1083 lts. el sustrato que se debe suministrar al biodigestor diariamente.

Para el calculo de las dimensiones del biodigestor consideramos el volumen del sustrato (22 m³ calculados en la sección 6.3.3) más el 36 % para una captación momentánea del biogas, ya que se tiene en la siguiente parte del proceso un tanque de almacenamiento de biogas.

Se elige un cilindro vertical de diámetro d y profundidad h, y como primera aproximación se toma d = h, por lo cual el volumen del cilindro será:

$$V=22 \text{ m}^3 (1.36) = 30 \text{ m}^3$$

$$V= (\pi d^2/4)h = \pi d^3/4 = 30 \text{ m}^3$$

Por lo tanto:

$$d = \sqrt[3]{30(4)/\pi} = 3.37 \text{ m} \approx 3.4 \text{ m} \quad \text{y} \quad d = h = 3.4 \text{ m}.$$

Sin embargo, para minimizar los costos de construcción y maximizar el aprovechamiento del terreno se propone que el $d = 3 \text{ m}$. Y de la misma fórmula del volumen se tiene $h = 4.2 \text{ m}$, siendo estas las dimensiones finales del biodigestor.

Conforme al gas que se tiene planeado producir, se tiene un tamaño de digestor de 30 m^3 . Debido a que es un proceso continuo se evitara la acumulación de natas y por consiguiente la reducción de bacterias anaerobias.

En dicho biodigestor, y para tener un adecuado proceso, se deben estar monitoreando la temperatura, el pH, así como el porcentaje de metano producido. Además, considerando al biogas, se deben tener indicadores de presión, válvula de alivio y válvulas de compuerta.

Cuando el pH no es el adecuado, se puede adicionar lechada de cal a la carga en cantidades determinadas previamente en pruebas de laboratorio (Arvizu, 1999).

Forma y Dimensiones

La carga del biodigestor se llevará a cabo por una bomba centrífuga y su descarga se realiza por otro ducto que sale de la parte superior del biodigestor. El biodigestor que se construirá para la generación de biogas tendrá las siguientes características:

El biodigestor propiamente dicho está construido como un cilindro vertical, enterrado, de $3,0 \text{ m}$ de diámetro interior y $4,24 \text{ m}$ de profundidad.

Para llevar la carga diaria se construirá una pileta de 100 mm conectada al fondo del biodigestor por un ducto de 100 mm de diámetro interior. En dirección opuesta a la pileta de carga se construirá un canal para la extracción de lodos residuales de 100 mm, el cual terminará en una pileta de descarga diseñada para la posibilidad de filtrar los lodos residuales.

Instrumentación:

Considerando los objetivos para los cuales se diseñó y construirá el biodigestor, a continuación se describe cómo se instrumentará para medir los distintos parámetros de interés:

- En el contenedor primario de gas se instalará un manómetro de columna de agua de 30 cm.
- Un sistema de termopares, equipado con indicador digital, que permita conocer la temperatura interior del biodigestor.
- Gasómetro en la salida de gas para la medición continua para ver la producción de biogas diaria

Construcción.

Habiendo definido forma y dimensiones se procede a la construcción del sistema.

La construcción del biodigestor se divide básicamente en dos partes y son:

- Obra Civil
- Contenedor primario de gas.

Diseño de la Planta Generadora de Biogas

La obra se inicia con una excavación de un pozo cilíndrico vertical de 3 m de diámetro y 4.24 m de profundidad, que aloja al biodigestor propiamente dicho. Este recipiente se iniciará con una plantilla de concreto y se levantará con muros de tabique recocido, reforzando la construcción con castillos a 90° y cadenas.

Se construye un canal de descarga que comunica al biodigestor con una pileta , construida abajo del nivel maximo de sustrato contenido en el biodigestor.

Toda la construcción se recubrió interiormente con una capa de cemento pulido para evitar las filtraciones.

Se presenta a continuación la lista de los materiales necesarios para la construcción del biodigestor de desechos orgánicos:

CONCEPTO	CANTIDAD
1.- Tabique recocido	6 millares
2.- Cemento	1 Tonelada
3.- Arena	5 m ³
4.- Varilla de hierro para construcción (0,95 cm)	30 Piezas
5.- Medidor de gas	1 unidad
6.- Medidor de pH	1 m
7.- Termómetro de bulbo de 0 a 100°C	2 piezas
8.- Termopares	3 unidades
9.- Registrador de temperatura	1 unidad

6.4. PLANTA PARA LA PRODUCCION DE BIOGAS

El biogas producido por el biodigestor es enviado a un contenedor. En el momento que se tiene cierto volumen de biogas, la válvula de compuerta es abierta para que se realice la compresión del biogas en un recipiente con características idóneas para almacenarlo a 30 bar, que es la presión de utilización comercial para vehículos automotores y es una presión adecuada para otros aparatos que utilizarán el biogas.

Se debe contemplar una nave para el llenado del equipo transportador (carro tanque), el cual se encargará de la distribución, así como oficinas, sanitarios, vestidores, accesos a vehículos necesarios para la actividad, etc.

La manipulación del biogas, requiere de un gran tratamiento de normas de seguridad, existen dos dependencias que ayudarán a las especificaciones del sistema; las normas que tienen vigencia para el manejo del gas metano son: NOM - 122 - STPS - 1997 y DGN, así como otras instituciones gubernamentales que intervienen en el mismo rubro.

También, las especificaciones del equipo y accesorios que se utilicen para el almacenamiento y manejo de Gas Natural deberán cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes. En el Anexo 4 se mencionan algunas de ellas.

Para el manejo del biogas, es necesario que se prepare técnicamente el personal, con el fin de evitar problemas serios a la planta de producción de biogas y seguridad del mismo usuario.

Además de todos aspectos detallados en los apartados del capítulo 5 es necesario mencionar que la planta de producción de biogas cuenta con todos los elementos de una planta de distribución de gas natural que como se sabe contiene un 98% de metano (*componente principal del biogas*).

Las dimensiones del predio donde se instale la planta de producción de biogas y sus delimitaciones son importantes. Se debe cumplir la Norma Oficial Mexicana NOM-X-58-1991 "PLANTAS DE ALMACENAMIENTO DE GAS L.P. Y NATURAL, DISEÑO Y CONSTRUCCION".

De acuerdo a las normas antes mencionadas, las características principales del predio deben ser:

Fuera de zonas residenciales o densamente pobladas.

No deberá haber líneas de alta tensión que crucen el predio, ya sea aérea o por ductos debajo de la tierra.

Deberá tener pendientes o sistemas adecuados para desalojo de aguas pluviales.

Zonas de estacionamiento y circulación con amplitud suficiente para un seguro movimiento de vehículos y personas.

Debe contar con una salida de emergencia cuando menos.

Perímetro delimitado en su totalidad con una altura mínima de 2 mts.

La zona de tanques de almacenamiento deberá quedar delimitada

Las oficinas administrativas deberán ser construidas de material incombustible.

Se debe contar pisos antiderrapantes e impermeables.

7. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.

7.1. ESTUDIO DE COSTO.

En este capítulo, se llevará a cabo un estudio sobre el costo de fabricación de una Planta Generadora de Biogas a partir de desechos orgánicos provenientes de la CEDA. Con la finalidad de verificar si es recomendable llevar a cabo la construcción de dicha planta.

De acuerdo a lo establecido en el capítulo 6, referente a la infraestructura, maquinaria y equipo que se requiere para diseñar una Planta Generadora de Biogas, a continuación se mencionará el costo aproximado de cada uno de sus elementos.

Además, se calcularán los gastos de operación, gastos de personal, compras de materias primas así como consumo por parte del personal, impuestos, etc..

Por otra parte, se incluirá la producción y, por lo tanto, la venta del producto.

Maquinaria y equipo requerido:

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNITARIO \$	TOTAL \$
1	Camión tipo volteo con capacidad máxima de 7 m ³ .	1	600,000.00	600,000.00
2	Fabricación de rampa para tránsito	1	20,000.00	20,000.00

	de un camión tipo volteo y contenedor de desechos orgánicos			
3	Prensa hidráulica con motor eléctrico de 60 H.P.	1	90,000.00	90,000.00
4	Banda de malla accionada por un motor eléctrico de ½ H.P.	1	5,000.00	5,000.00
5	Contenedor de fracción sólida con una capacidad no mayor de 2 toneladas.	1	4,000.00	4,000.00
6	Deposito de acopio de lixiviado (850 litros) y agua (270 lts.) aproximadamente 2 m³.	1	2,000.00	2,000.00
7	Calentador de agua (Hidroeléctrica 30°C de 9 lt /min	1	1,500.00	1,500.00
8	Aspas accionadas con motor eléctrico de 1 h.p.	1	3,000.00	3,000.00
9	Tinaco para agua.	1	800.00	800.00
10	Bomba centrifuga para el envío del mezclado al interior del biodigestor.	1	800.00	800.00
11	Biodigestor de 30 m³.	1	20,000.00	20,000.00
12	Depósito de biogas con una capacidad mínima de la producción de biogas que se necesita diariamente (15500 lts).	1	5,000.00	5,000.00
13	Compresor de gas natural con capacidad de 44 a 48 galones/min con indicadores de presión, trampa de líquido, válvula de 4 vías, tubería interconectora, incluye un motor eléctrico de 7.5 H.P	1	103,000.00	103,000.00

Estudio de Factibilidad

14	Recipiente con capacidad de almacenamiento de 15 000 lts. de biogas a una presión de 30 bar.	1	50,000.00	50,000 00
15	Carro tanque para la repartición del biogas que se genere.	1	600,000.00	600,000.00
16	Instrumentos de medición : medidor de porcentaje de metano, medidor de temperatura, medidor de potencial de hidrógeno (pH), medidor de gas natural, regulador de alta y baja presión,	1	40,000.00	40,000.00
17	Camioneta tipo pick-up utilitario.	1	100,000.00	100,000.00
	SUBTOTAL			1'645,000.00

Terrenos:

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNITARIO	TOTAL
			\$	\$

1	Terreno de 2,500 m ²	1	500,000.00	500,000.00
2	Construcciones Especiales	4	10,000.00	40,000.00
3	Oficinas	3	10,000.00	30,000.00
4	Estacionamientos (para el parque vehicular de la planta y para el personal : aprox. 100 m ²).	2	5,000.00	10,000.00
	SUBTOTAL			580,000.00

TOTAL

\$2'225,000.00

Arranque y operación:

Equipo de oficina	\$ 50,000.00
Herramienta y equipo de seguridad	\$100,000.00
TOTAL	\$150,000.00

Costo Total Estimado de la Planta **\$2'372,000.00**

Estimación del Costo Mensual de Operación

Gastos de personal

Se incluyen: sueldos, prestaciones, incentivos, comisiones, honorarios, aportaciones al seguro social, etc..

\$165,000.00

Impuestos y obligaciones.

Se incluyen: licencias y concesiones, predial, I.V.A., etc..

\$100,000.00

Servicios.

Se incluye: agua, luz, drenaje, línea telefónica, etc..

\$5,000.00

Administrativos.

Se incluye: publicidad, asesorías, jurídico, etc..

\$160,000.00

La suma de estos conceptos daría como resultado el *Costo Mensual de Operación de la Planta Generadora de Biogas: \$530,000.00*

Nota.- A este estimado, se le debe agregar algunos costos tales como permisos y gastos fiscales, insumos, suministros para almacen, honorarios, etc. debido a que se desconoce el importe.

Estimación del Ingreso Mensual

Producto generado	Producción		Precio Unitario (\$)	Total
	Cantidad por día	Unidad		
Biogas	15 000	Its.	1.5	22,500

Ingreso Mensual \$540,000.00

RESUMEN DEL ESTUDIO DE COSTOS

INVERSION NETA		\$2'375,000.00
COSTO DE OPERACIÓN	\$430,000.00(MENSUAL)	\$6'360,000.00(ANUAL)
INGRESO	\$540,000.00(MENSUAL)	\$6'480,000.00(ANUAL)

$$VPN = S_0 + \frac{S_1}{(1+i)}$$

donde VPN = Valor Presente Neto

i = TREMA = Tasa de retorno mínimo aceptable (este valor es la tasa de interés anual que ofrecen los bancos).

St = Costo de operación mensual a través de un periodo de 12 meses.

So = Inversión inicial.

entonces

$$\begin{aligned}
 \text{VPN} = & -2'375,000.00 + \frac{430,000.00}{(1+i)^1} + \frac{430,000.00}{(1+i)^2} \\
 & + \frac{430,000.00}{(1+i)^3} + \frac{430,000.00}{(1+i)^4} + \frac{430,000.00}{(1+i)^5} + \frac{430,000.00}{(1+i)^6} \\
 & + \frac{430,000.00}{(1+i)^7} + \frac{430,000.00}{(1+i)^8} + \frac{430,000.00}{(1+i)^9} + \frac{430,000.00}{(1+i)^{10}} \\
 & + \frac{430,000.00}{(1+i)^{11}} + \frac{430,000.00}{(1+i)^{12}}
 \end{aligned}$$

si $i = 10.50\%$

$$\text{VPN} = \$ 5'234,479.00$$

8. CONCLUSIONES.

Esta tesis, ha expuesto en términos generales las características principales de la basura y desechos sólidos; la alternativa de un proceso anaerobico para la obtención de energía y el diseño de la producción de gas natural (biogas). A este respecto se ha hecho una importante investigación respecto al funcionamiento, operación y tipos de biodigestores

Por otro lado, se planteo el manejo de la basura que se realiza en la CEDA. A partir de él se propone una Planta Generadora de Biogas a partir de desechos orgánicos. La planta es especificada para satisfacer los requerimientos de gas de la propia CEDA.

Además, el trabajo desarrollado hace propuestas para la recolección de los desechos orgánicos en la CEDA y para la transportación del biogas producido.

El diseño del proceso de producción, la selección de sus elementos principales, y la especificación del biodigestor que produce el biogas, están basados en una extensa investigación que incluyo el estudio de proyectos similares y entrevistas con expertos mexicanos en el campo (ver bibliografía).

La planta propuesta es un diseño original que satisface la producción de gas requerida por la CEDA.

El estimado económico para la realización de la planta propuesta implica una inversión neta de \$ 2,375,000.00 y un tiempo aproximado de 2 años de recuperación de la inversión.

Cabe señalar que la planta especificada incluye un solo biodigestor. Sin embargo, se pueden adicionar 5 biodigestores ya que la materia prima es suficiente. Esto conllevaría, obviamente, a una disminución en el tiempo de recuperación de la inversión.

Otra adición, podría ser la de dar un proceso aeróbico a la composta generada para aumentar su calidad. Según información proporcionada por la Universidad de Xalapa, la composta al darle un proceso de lombricultura aumentaría considerablemente su calidad; también, según su estudio de costos, de 278 tn. de desechos sólidos obtendrían 200 tn. de abono orgánico lo cual implicaría una venta bruta mensual de \$ 2,000,000.00 (estudio de costos en 1998),

Por tal motivo, al diseño de la Planta Generadora de biogas, se recomendaría el incremento de biodigestores, y ésto no implicaría gran aumento en la inversión. Además, adicionándole el proceso aeróbico a la composta, se generaría un abono orgánico de gran calidad, el cual se vendería satisfactoriamente.

Anexo 1

Composición del Biogas (Baquedano,1979).

Metano	CH ₄	70 %
Anhídrido carbónico	CO ₂	27 %
Nitrógeno	N ₂	0.5 %
Hidrógeno	H ₂	1.0 %
Monóxido de carbono	CO	0.1 %
Oxígeno	O ₂	0.1 %
Ácido sulfhídrico	H ₂ S	1.3%

Es conveniente reducir el porcentaje de CO₂ ya que con esta medida se incrementaría el poder calorífico del biogas. Y también es preferible reducir el contenido de H₂S para disminuir la corrosión en el biodigestor y dispositivos anexos.

Anexo 2

La acción de las bacterias.

La digestión anaerobia, promotora de la producción de metano, es realizada por grupos de bacterias que se interrelacionan para favorecerse mutuamente. La materia orgánica, al ser introducida al biodigestor es atacada por una comunidad

bacteriana fermentiva que emplea enzimas del tipo oxidasas, proteasa y lipasas. Como producto de la separación de la materia orgánica por medio de las enzimas, se forman monómeros fácilmente fermentables. Posteriormente, en el transcurso de una fermentación ácida, se formaran ácidos grasos volátiles de 2 a 5 átomos de carbono, bicarbonato e hidrógeno (Young,1986).

En la siguiente etapa, por la acción de las bacterias acetogénicas, los ácidos grasos se transforman en acetato, bicarbonato e hidrógeno, con lo cual se evita la acumulación nociva de ácidos grasos volátiles que impiden la producción de metano (Young,1986)

Finalmente, las bacterias metanogénicas utilizan el acetato, bicarbonato e hidrógeno, para producir metano. Se han realizado cálculos demostrando que entre un 73-80% del metano producido provienen del grupo metil del acetato (Young,1986).

Durante el proceso, una parte de la materia orgánica se oxida a CO_2 y otra se reduce a CH_4 , de lo cual resulta como subproducto, el biogas compuesto básicamente por 55-70% de metano y 45-30% de bióxido de carbono.

Anexo 3

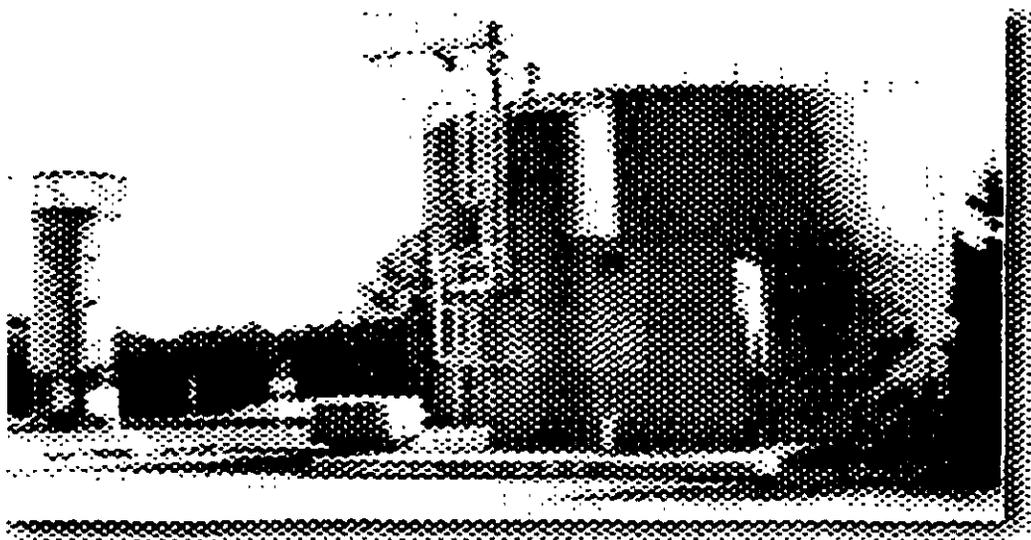
Investigaciones sobre digestión anaerobia en el mundo (Tchobanaglou,1994).

Proceso de digestión	País	Estado	Descripción
----------------------	------	--------	-------------

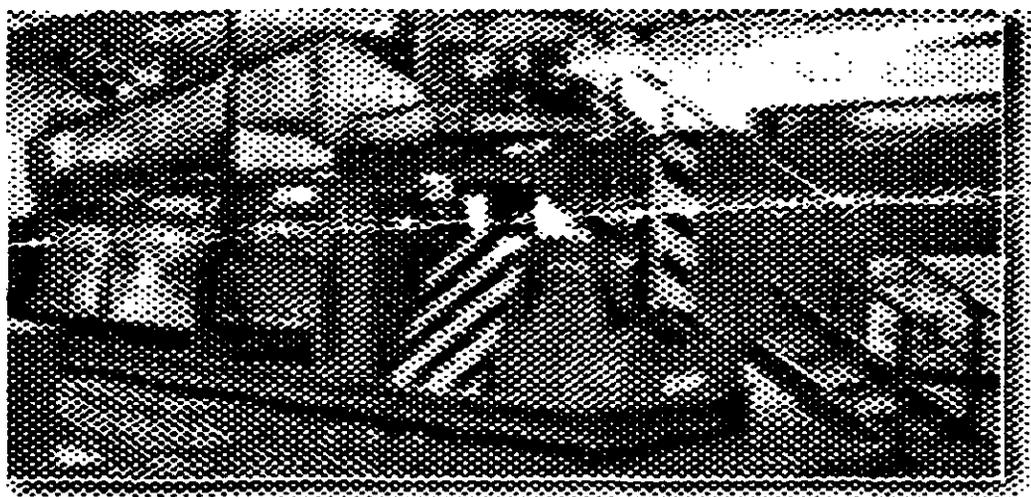
anaerobia			
Compostaje anaerobio de lotes secuenciales (CALs)	E.U.A.	Etapa experimental	Es un proceso anaerobio discontinuo de 3 etapas. En la primera etapa, se inocula un lecho de alimentación con una trituración gruesa mediante el reciclaje de los lixiviados procedentes del reactor de la tercera etapa en las etapas finales de digestión. Los ácidos volátiles y otros productos de fermentación generados durante el arranque se separan del reactor de la primera etapa hacia el reactor de la segunda etapa para su conversión en metano
Proceso de digestión anaerobia de sólidos de alta concentración / compostaje aerobio	E.U.A.	En desarrollo	Es un proceso de dos etapas. La primera etapa implica la digestión seca (contenido en sólidos del 25 al 32 por 100) para convertir la fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en metano. La segunda etapa implica el compostaje aerobio de los sólidos digeridos anaerobiamente para producir un material fino que pueda utilizarse como combustible o enmienda de suelo.
Proceso de digestión anaerobia	Italia	En desarrollo	Es un proceso de dos etapas. La primera etapa implica la digestión

de semisólidos compostaje aerobio			semiseca (contenido de sólidos del 15 al 22 por 100) para convertir la fracción orgánica de los RSU en energía. La segunda etapa implica el compostaje aerobio de los sólidos no seleccionados digeridos anaerobiamente y de la fracción biodegradable de los RSU orgánicos para producir un material húmico.
Proceso de digestión anaerobia de lecho de lixiviación en dos fases	Reino Unido	Etapas experimental	Implica la biolixiviación rápida de la materia orgánica procedente del material putrefactible en los RSU en un vertedero especialmente diseñado y preparado. Para acelerar el proceso, los lixiviados resultantes son recirculados a través del material sólido.
Digestión anaerobia en dos etapas	Alemania	Etapas experimental	Se utiliza para tratar los sustratos orgánicos con bajas relaciones Carbono/Nitrógeno (C/N) y altas tasas de carga. El proceso se basa en una conversión bioquímica secuencial de los sólidos orgánicos que permite un mejor control del proceso. Este proceso se lleva a cabo en una fase semilíquida en el rango de temperaturas mesofílicas.

Proceso bioresiduo	Dinamarca	En desarrollo	Está diseñado para tratar los residuos sólidos domésticos separados en origen junto con los residuos industriales y agrícolas. El biodigestor de la mezcla completa funciona en el rango de temperaturas termofílicas.
Proceso KAMPOGAS	Suiza	En desarrollo	Es un proceso nuevo de digestión anaerobia para tratar residuos de fruta, vegetales y de jardín. El biodigestor es cilíndrico y está dispuesto horizontalmente. El biodigestor, equipado con un agitador guiado hidráulicamente, se opera con concentraciones altas de sólidos en el rango de temperaturas termofílicas.
Proceso DRANCO Ver figura siguiente	Bélgica	Desarrollado	Se utiliza para la conversión de la fracción orgánica de los RSU para producir energía y un producto húmico, llamado humutex. El proceso de digestión se lleva a cabo en un reactor vertical de flujo pistón sin mezcla mecánica, pero los lixiviados del fondo se reciclan. El biodigestor DRANCO se opera en concentraciones altas de sólidos y en el rango de temperaturas mesofílicas.



Bio Gas Storage

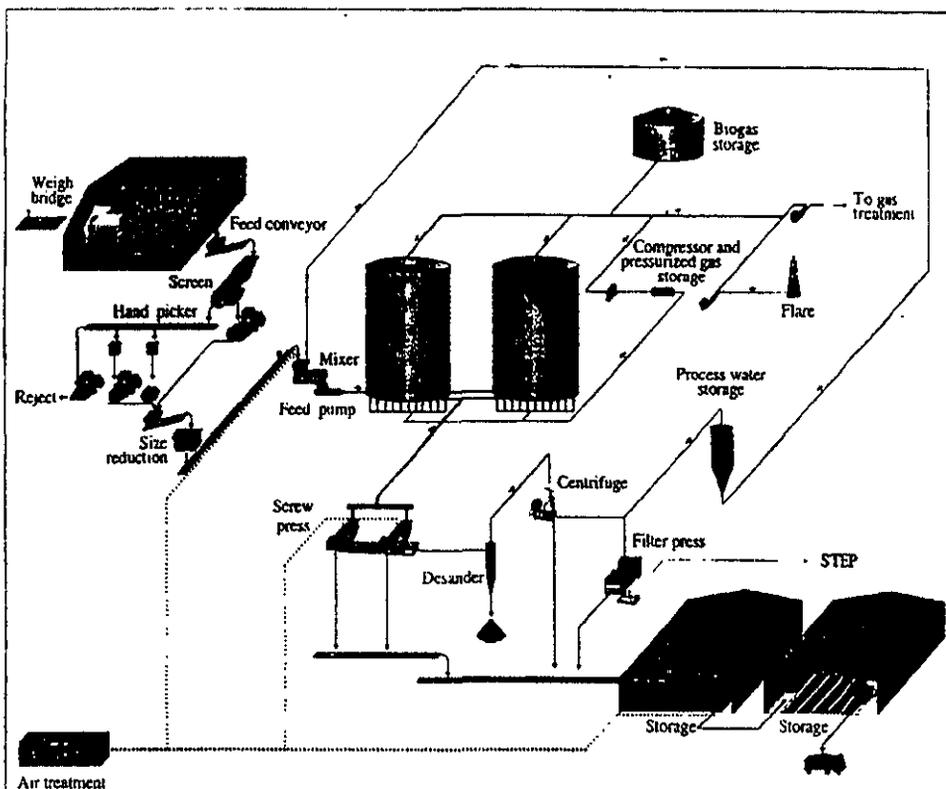


Screw Press for Dewatering

Proceso VALORGA	Francia	Desarrollado	Esta formado por una unidad de selección, una unidad de producción de metano y una unidad de refinado. El fermentador anaerobio opera con concentraciones altas de sólidos y en el rango de temperaturas mesofílicas. La mezcla de la materia orgánica en el reactor se consigue con el reciclaje del biogas a presión en el fondo del biodigestor.
-----------------	---------	--------------	---

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Figure 1 Process diagram of the Vitoria full-scale plant



<p>Proceso BIOCELL</p>	<p>Holanda</p>	<p>En desarrollo</p>	<p>Es un sistema por lotes desarrollado para tratar RSU separados en origen (frutas, residuos de jardín y residuos vegetales) y residuos agrícolas. El biodigestor utilizado tiene forma circular, con 11.25 mts de diámetro y 4.5 mts de altura. La alimentación del biodigestor, con una concentración total de sólidos del 30 por 100, se obtiene mezclando los RSU orgánicos entrantes separados en origen con los sólidos digeridos procedentes de la etapa anterior de digestión.</p>
----------------------------	----------------	----------------------	---

Anexo 4.

Normas que regulan el uso y manejo de Gas Natural

NOM-B-177	"Tubos de acero al carbón con o sin costura, negros o galvanizados por inmersión en caliente para usos comunes".
NOM-CH-26	"Calidad y funcionamiento de manómetros para gas L.P. y Natural".
NOM-CH-36	"Instrumentos de medición-aparatos para pesar características y cualidades meteorológicas".
NOM-S-15	"Aplicación de los Colores de Seguridad".
NOM-X-4	"Calidad y funcionamiento para conexiones utilizadas en mangueras para la conducción de gas Natural y L.P."
NOM-X-5	"Recipientes portátiles para contener gas L.P."
NOM-X-6	"Indicadores de nivel de Gas L.P. y Amoniaco Anhidrido".
NOM-X-12/1	"Recipientes para gas L.P. tipo no portátil".
NOM-X-12/2	"Recipientes sujetos a presión no expuestos a calentamiento por medios artificiales para contener Gas L.P. tipo no portátil destinados a plantas de almacenamiento para distribución y estaciones de aprovisionamiento de vehículos".
NOM-X-12/3	"Recipientes sujetos a presión no expuestos a calentamiento por medios artificiales para contener Gas L.P. tipo no portátil para instalaciones de aprovisionamiento final de Gas L.P., como combustible".
NOM-X-13	"Válvula de retención para uso en recipientes no portátiles para Gas L.P."
NOM-X-25	"Válvulas de llenado para uso de recipientes tipo no portátil para Gas L.P."
NOM-X-31	"Instalación de Gas Natural o L.P.; vapor y aire válvulas de paso".

- NOM-X-29 Mangueras con refuerzos de alambre o fibras textiles para Gas L.P.”.
- NOM-X-52 “Calidad y funcionamiento para válvulas de seguridad tipo resorte interno, empleadas en recipientes no portátiles uso Gas L.P.”.

GLOSARIO

Bacteria Anaerobicas. Bacteria que prolifera únicamente en ausencia de oxígeno libre.

Bacterias Mesofílicas. Familia de bacterias cuyo ciclo biológico se lleva a cabo en forma óptima entre 30 y 35° C.

Bacterias Metanogénicas. Son las bacterias anaerobicas que destruyen los ácidos orgánicos, principalmente el ácido acético, para formar metano (CH₄).

Bacterias Termofílicas. Familia de bacterias cuyo ciclo biológico se lleva a cabo en forma óptima entre 55 y 66°C.

Bioabono. Residuo orgánico de excelentes propiedades fertilizantes y mejoradas de suelos, que se obtienen del residuo de la biometanización.

Biogas. Mezcla de gases que se obtiene a partir de la biometanización, cuyos principales componentes son metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂).

Biometanización. Fermentación anaerobica de la materia orgánica en la que se produce biogas, quedando un residuo estabilizado (bioabono).

Celulosa. Polímero biológico formado por moléculas de glucosa, material básico de las plantas fibrosas.

Degradación. Proceso mediante el cual las moléculas orgánicas complejas se convierten en moléculas simples.

Biodigestor. Tanque o pozo donde ocurre la fermentación anaeróbica.

Fermentación Anaeróbica. Proceso microbiológico que llevan acabo bacterias anaeróbicas.

Inóculo. Material que activa el proceso microbiológico.

Metano. Es el hidrocarburo más simple. Está formado por un átomo de carbono y 4 átomos de hidrogeno (CH_4). Es un gas combustible, incoloro, e inodoro; es el principal componente de gas natural (98%)

Nitrógeno Total (TKN) Nitrógeno total por Kjeldahl. Cantidad de nitrógeno que se obtiene después de la digestión de materia orgánica con ácidos sulfúricos.

Patógenas. Bacterias que causan enfermedades tanto a los animales como al hombre.

pH. Medida de la acidez o la alcalinidad. Se define como el logaritmo del reciproco de la concentración del ion hidrogeno. Un PH de 7 se considera neutro, menor que 7 ácidos y mayor de 7 alcalino.

Relación Carbono/Nitrógeno(C/N). Cociente de los pesos de carbono y nitrógeno total, presente en materia prima.

Sustratos. Desecho orgánico que se proporciona al proceso biológico para alimentación de los microorganismos que lo llevan acabo. (En un biodigestor, sería la carga diaria de materia orgánica).

BIBLIOGRAFIA

AGUILAR RIVERO MARGOT, 1991; RECICLAMIENTO DE BASURA.

ARVIZU, JOSE LUIS, 1998; INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS; DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DIGESTOR DE DESECHOS ORGANICOS DE 10 M³ DE VOLUMEN.

BAQUEDANO MUÑOZ MANUEL, 1979; LOS DIGESTORES: ENERGÍA Y FERTILIZANTES PARA EL DESARROLLO RURAL.

CASTILLO FRANCISCO, 1991; VISITA REALIZADA EL DIA 28 DE MAYO DE 1999 A LA UNIVERSIDAD DE XALAPA; SE REALIZA UNA PLANTA RECICLADORA DE DESECHOS ORGANICOS GENERADOS POR LA UNIVERSIDAD.

DEFIS CASO ARMANDO, 1989; LABASURA ES LA SOLUCION.

F. BLUMENKRON FERNANDO, 1991; MANEJO Y USO DEL GAS L. P. Y NATURAL.

I.N.I.R.E.B., 1979; INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES SOBRE RECURSOS BIÓTICOS, XALAPA VERACRUZ.

INSTITUTO TECNOLOGICO DE ZACATEPEC, 1991; PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE FRUTAS Y LEGUMBRES EN REACTORES ANAEROBICOS. DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES.

MANDUJANO MARIA ISABEL, A. ALFONSO FELIX A., ANA MARIA MARTINEZ, 1981; BIOGAS: ENERGIA Y FERTILIZANTES A PARTIR DE DESECHOS ORGANICOS. MANUAL PARA EL PROMOTOR DE LA

TECNOLOGIA. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS. DIVISION FUENTES DE ENERGIA. DEPARTAMENTO FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA.

MONROY OSCAR; H. GUSTAVO VINIEGRA G; BIOTECNOLOGIA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS DESPERDICIOS ORGANICOS.

DON AUGENSTEIN; PRINCIPIOS TECNICOS DE LA DIGESTION ANAEROBIA.

MEYNELL PETER JOHN; METHANE: PLANNING A DIGESTER.

RANADE D.R., 1987; PRODUCTION OF BIOGAS FROM MARKET WASTE.

TCHOBANAGLOUS GEORGE, HILARY THEISEN; SAMUEL VIGIL, 1994; GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS.

DONALD L. WISE; FUEL GAS SYSTEM
Y. R. CHEN; BIOGAS DIGESTER DESIGN

VISITA AL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS CON EL ING. JOSE LUIS ARVIZU FERNANDEZ EL DIA 11 DE JUNIO DE 1999. ADEMAS, SE TUVO CONTACTO POR E-MAIL EL 30 DE JUNIO DE 1999.

YOUNG MARCO, 1986; DIGESTORES ANAEROBIOS: CRITERIOS DE SELECCIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.

WATER SCIENCIE AND TECHNOLOGY; REVISTA; 1997.

YUE HAN; TEMPERATURE-PHASED ANAEROBIC DIGESTION OF WASTEWATER SLUDGES; 1997.

HELENE FRUTEAU DE LACLOS. SERGE DESBOIS; ANAEROBIC DIGESTION OF MUNICIPAL SOLID ORGANIC WASTE: VALORGA FULL-SCALE PLANT IN TILBURG, THE NETHERLANDS; 1997.

KRISHNA R. PAGILLA, CAUSES AND EFFECTS OF FOAMING IN ANAEROBIC SLUDGE DIGESTERS; 1997.

Y. Y. LI; ECOLOGICAL ANALYSIS OF THE BACTERIAL SYSTEM IN A FULL-SCALE EGG-SHAPED DIGESTER TREATING SEWAGE SLUDGE; 1997.

MORALES RUIZ JUAN, 1999; CENTRAL DE ABASTOS.

GONZALEZ VICTOR, 1999; EMPRESA KRON.

VINIEGRA GUSTAVO, 1999; U. A. M. IZTAPALAPA.