



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

EL N.º. AL. 191.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN



DEPARTAMENTO DE  
**CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA EL  
APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE ORIGEN ORGÁNICO,  
COMO ALTERNATIVA ECOLÓGICA Y DE OBTENCIÓN DE ENERGÍA**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO AGRÍCOLA**  
**P R E S E N T A**  
**JORGE GÓMEZ ROMERO**  
**A S E S O R E S**  
**ING. JOSÉ ANTONIO SÁNCHEZ GUTIÉRREZ**  
**ING. EDGAR ORNELAS DÍAZ**

Cuautitlán Izcalli, Estado de México

2002

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS  
 INSTITUTO NACIONAL  
 AUTÓNOMO DE ESTUDIOS SUPERIORES

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
 FACULTAD DE ESTUDIOS  
 SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
 EXAMENES PROFESIONALES

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 P R E S E N T E

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Construcción de un biodigestor para el aprovechamiento de residuos de orina orgánica, como alternativa ecológica y de obtención de energía".

que presenta él pasante: Jorge Gómez Romero.  
 con número de cuenta: 8028353-1 para obtener el título de :  
Ingeniero Agrícola.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
 Cuautitlán Izcalli, Méx. a 27 de Junio de 2002

PRESIDENTE	<u>Biol. Armando Luco Sotelo.</u>	
VOCAL	<u>Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez.</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. Javier Carrillo Salazar.</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Raúl Espinoza Sánchez.</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Javier Medina Barrón.</u>	

## *Dedicatoria*

*Dedico este trabajo en forma especial a mi esposa Aurora, quien siempre me ha brindado su apoyo incondicional.*

## *Agradecimientos*

*Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, a la FES-Cuautitlán y a la carrera de Ingeniería Agrícola, por la oportunidad de concluir una etapa de mi vida.*

*A cada uno de mis amigos que de alguna forma les debo mucho ¡su amistad!*

*Agradezco de manera especial a los Ingenieros José Antonio Sánchez y Edgar Ornelas por su paciencia y precisa orientación.*

*Agradezco a los Ingenieros del laboratorio de termofluidos que durante la realización de este trabajo me destinaron su tiempo, conocimientos y amistad.*

*A Bernardino del laboratorio de manufacturas que gracias a su ayuda fue posible realizar este trabajo.*

*Agradezco a mi amiga Ana Maria por su valiosa orientación.*

*Al honorable jurado y a todas aquellas personas que hicieron posible este trabajo.*

<b>ÍNDICE</b>	<b>página</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>i</b>
<b>Índice de cuadros</b>	<b>ii</b>
<b>Índice de planos</b>	<b>ii</b>
<b>1. Introducción.</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivos.</b>	<b>4</b>
2.1 <i>Objetivo general.</i>	4
2.2 <i>Objetivos particulares.</i>	4
<b>3. Revisión de literatura.</b>	<b>5</b>
3.1 La contaminación y el medio ambiente.	5
3.1.1 Definición de contaminación.	5
3.2 Tipos de contaminación.	5
3.2.1 Clasificación por su fuente.	5
3.2.2 Clasificación por su origen.	6
3.3 Contaminación antropogénica.	6
3.3.1 Contaminación atmosférica.	7
3.3.1.1 Contaminación por compuestos de carbono.	7
3.3.1.2 Contaminación por compuestos de azufre.	8
3.3.2 Contaminación hídrica.	8
3.3.3 Contaminación del suelo.	9
3.3.3.1 Uso de fertilizantes.	9
3.3.3.2 Uso de plaguicidas.	10
3.3.4 Generación de desechos.	10

3.3.4.1 Residuos sólidos municipales.	11
3.4 Los principios de la energía.	12
3.4.1 Definición de la energía.	12
3.4.2 Los recursos energéticos.	13
3.4.3 Energía renovable y no renovable.	14
3.5 Combustibles de uso doméstico.	16
3.5.1 Definición.	16
3.5.2 Gas Natural.	17
3.5.3 Gas de petróleo licuado.	18
3.6 El problema de los energéticos.	19
3.6.1 Los energéticos en México.	19
3.6.2 Consumo energético en México.	20
3.6.2.1 Consumo de gas licuado.	21
3.6.2.2 Consumo de leña.	21
3.6.2.3 Política de precios.	22
3.7 El biodigestor.	22
3.7.1 Definición.	22
3.7.2 Antecedentes.	23
3.7.3 Tipos de Biodigestores.	27
3.7.3.1 Digestores de una etapa.	27
3.7.3.2 Digestores de dos etapas.	28
3.7.3.3 Digestores de contacto.	29
3.7.3.4 Digestores tipo Biomix.	30
3.7.4 Tipos de biodigestores según diseño y proceso.	30

3.7.4.1 Clasificación.	31
3.7.4.2 El proceso continuo.	31
3.7.4.3 El proceso discontinuo.	33
3.7.5 Funcionamiento de los biodigestores.	33
3.7.5.1 Procesos de la biodigestión anaeróbica.	33
3.7.5.2 Propiedades del biogas.	37
3.7.5.3 Mecanismos de funcionamiento.	37
<b>4. Diseño y construcción del biodigestor.</b>	<b>40</b>
4.1 Diseño y proceso de construcción.	40
4.2 Elementos de construcción.	40
4.3 Procedimientos para el diseño.	41
4.3.1 Cálculos para determinar volumen, masa y densidad del material orgánico utilizado.	43
4.4 Materiales.	48
4.5 Costos de producción.	50
4.6 Componentes del biodigestor.	51
4.6.1 Área de carga.	51
4.6.2 Nivel del material orgánico.	55
4.6.3 Área de agitación.	56
4.6.4 Área para dispositivos de la temperatura.	57
4.6.5 Área para dispositivos de la presión.	57
4.6.6 Área de descarga.	57
4.6.7 Dispositivos para la conducción del gas.	58
4.6.8 Gasómetro.	60

<b>5. Operación del biodigestor y producción de biogas.</b>	<b>62</b>
5.1 Producción de biogas.	64
5.1.1 Cálculos de producción de biogas.	67
5.1.2 Gráfico de producción de biogas.	69
<b>6. Conclusiones.</b>	<b>72</b>
<b>7. Bibliografía.</b>	<b>74</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Figura

página

1	Biodigestor de alimentación continua. Xochicalli, A. C.	25
2	Digestor horizontal semicontínuo tipo INIREB	26
3	Digestor tipo hindú	28
4	Digestor esférico tipo chino	29
5	Diagrama de un digestor de gran capacidad	30
6	Diseños de algunos tipos de biodigestores	32
7	Accesorios para la construcción del biodigestor	41
8	Tolva, ducto y juntas para la zona de carga	55
9	Tolva, ducto y nivel ensamblados en el contenedor	55
10	Accesorios para el nivel del efluente	55
11	Nivel del efluente ensamblado	55
12	Agitador del efluente	56
13	Dispositivos para suministro de temperatura y conexión del manómetro	56
14	Compuerta de la zona de descarga	58
15	Elementos de la zona de carga, descarga, agitador y nivel	58
16	Tablero, mangueras de conducción, filtros de limpieza y medidor de gas	59
17	Reactor concluido	59
18	Reactor instrumentado y en funcionamiento	59
19	Tubo de conducción de gas en el burbujeador	61
20	Campana del gasómetro, guías de la campana, tubo de salida del gas y del manómetro	61
21	Peso de los materiales para el inicio de la operación	62
22	Carga del material para inicio de la operación	63
23	Conexión del mechero a la manguera de salida del gas	64
24	Prueba de quema del gas en el mechero	64
25	Gráfico de producción de biogas	71

## ÍNDICE DE CUADROS

		página
Cuadro		
1	Descripción de algunos géneros de bacterias metanogénicas	34
2	Descripción, número de piezas y precio de materiales requeridos para la construcción del biodigestor	49
3	Costo estimado de producción de un biodigestor	51
4	Cantidad de biogas producido en litros durante el tiempo del proceso metanogénico en el biodigestor construido	65

## ÍNDICE DE PLANOS

		página
Plano		
1	Medidas para determinar volumen	42
2	Componentes generales	47
3	Zona de carga	52
4	Componentes para la agitación	53
5	Gasómetro	54

## 1. INTRODUCCION

---

Día a día, hay un mayor consumo de recursos naturales por parte del ser humano para cubrir una gran demanda de necesidades como la alimentación, vivienda, vestido y el esparcimiento.

Estos recursos naturales se pueden consumir directamente o pasando por un sistema de industrialización. Se consumen tanto en el medio urbano como en el rural, lo cual ha propiciado su sobreutilización que a la vez ha generado una gran cantidad de desechos que ejercen una mayor presión negativa sobre el medio ambiente, ocasionando diversos problemas como el agotamiento de los mantos acuíferos, la degradación del suelo, el aire, la flora y la fauna silvestre provocando una perturbación de los ecosistemas.

La población de México en 1990 era de 81,249,645 habitantes (10) y aumentó a 97,483,412 en el año 2000 (16).

Esto da una idea de la gran cantidad de desechos que se generan en el país y que se deben en gran parte al consumo desmedido de recursos naturales.

Se estima que en 1989 el monto nacional de basura domiciliar era de 52 mil toneladas diarias, en 1991 de 57 mil y en 1992 de 60 mil (32). En su mayoría se deposita en tiraderos a cielo abierto (3).

En el caso de los desechos del campo como son estiércoles, pajas, rastrojos y esquilmos, así como residuos de las distintas agroindustrias no son aprovechados como se debiera.

Esta situación presenta un panorama del gran riesgo que tiene el ser humano al ser susceptible de plagas y enfermedades por sobre explotar los recursos naturales y no dar un aprovechamiento a dichos desechos.

La utilización de desechos debe ser considerada como una estrategia a largo plazo para lograr la conservación de los recursos y mantener un medio ambiente menos perturbado.

Las reservas energéticas convencionales (petróleo y gas natural) son limitadas y tarde o temprano se pueden agotar, por tratarse de recursos no renovables, el petróleo y el gas cada día son más caros lo cual ha propiciado las diferentes crisis energéticas de las últimas décadas.

Las reservas fósiles siguen siendo finitas y probablemente, su destino más adecuado sea como materia prima de la industria química y no como combustible.

La industria petroquímica utiliza petróleo para producir fibras sintéticas, fármacos, fertilizantes, plásticos y muchos otros productos, pero provoca dos problemas: el agotamiento de las reservas de hidrocarburos y la contaminación del ambiente.

La tecnología para aprovechar recursos potenciales como lo son los desechos agrícolas y urbanos que son biodegradables a corto y largo plazo está todavía subdesarrollada en México ya que en países desarrollados se cuenta con grandes complejos así como una apreciable cantidad a nivel domestico como es el caso de China.

Este tipo de necesidades se podrá cubrir mediante un prototipo de biodigestor que pueda ser fácil de hacer en el hogar y por cualquier persona, en un medio urbano o rural.

Ante esta situación surge la necesidad de optimizar los recursos naturales y aprovechar los desechos de origen orgánico.

Si los desechos pudieran utilizarse en provecho del hombre, se lograría mejorar la calidad de vida de una población y por consiguiente de la humanidad y así dejarían de ser considerados desechos (13).

Una posibilidad de uso de desechos de origen orgánico es la obtención de biogas y bioabono, utilizando un biodigestor anaeróbico.

El biogas es un combustible que puede ser aprovechado en una gran diversidad de formas; como combustible para cocinas rurales, para lámparas de iluminación y para motores de combustión interna, entre muchas otras aplicaciones.

A su vez el bioabono obtenido es inocuo ya que el proceso anaeróbico y el trabajo de las bacterias especializadas en el, favorecen una transformación libre de olores y patógenos, muy comunes en los desechos orgánicos sin tratamiento (23).

De lo anteriormente expuesto se generan los siguientes objetivos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL.**

Construir un biodigestor para la degradación de materiales orgánicos de desecho, como alternativa de aprovechamiento para obtener biogas como energético y bioabono como fertilizante o mejorador de suelo.

### **2.2 OBJETIVOS PARTICULARES**

Diseñar un biodigestor, partiendo de principios básicos de dibujo y que sea fácil de interpretar

Construir el biodigestor con materiales económicos y de fácil adquisición.

Instrumentar el biodigestor para un mejor control sobre la obtención de biogas.

Utilizar estiércol bovino como material orgánico disponible para comprobar el funcionamiento del biodigestor y la producción de biogas.

Cuantificar la cantidad en litros de biogas por kilogramos de materia orgánica suministrada.

### **3. REVISION DE LITERATURA**

---

#### **3.1 La contaminación y el medio ambiente**

La contaminación puede considerarse como cualquier alteración desfavorable de los medios de vida de los seres vivos y que pueda comprometer la permanencia de estos. También puede hablarse de contaminación cuando alguna de las características propias del medio está alterada.

##### **3.1.1 Definición de contaminación**

A la contaminación se le puede definir: Como un cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del aire, agua, suelo o alimentos que puede influir de diversas formas en la salud, supervivencia o actividades de los seres humanos u otros organismos vivos (10).

#### **3.2 Tipos de contaminación**

##### **3.2.1 Clasificación por su fuente**

Dependiendo de sus características y de las fuentes que la generan pueden ser de tres tipos.

- **Contaminación biológica.** Este tipo de contaminación se presenta cuando existen microorganismos que causan un desequilibrio en la Naturaleza, por ejemplo: bacterias, hongos, virus, protozoarios. Es típica de aquellas regiones cuyas condiciones de higiene son deficientes y se presenta principalmente en países subdesarrollado (10).

- **Contaminación física.** Es toda aquella contaminación causada por factores físico-mecánicos relacionados principalmente con la energía. Por ejemplo: altas temperaturas, ruido, ondas electromagnéticas. Que puede ocasionar enfermedades psiconeurológicas (10).
- **Contaminación química.** Es toda aquella contaminación provocada por materia, especialmente por sustancias químicas, que pueden ser orgánicas e inorgánicas. La contaminación química es muy antigua como la misma humanidad y su impacto más notorio durante el auge industrial (10).

### 3.2.2 Clasificación por su origen.

La contaminación puede clasificarse por su origen en natural y antropogénica.

- **Natural.** Es aquella causada por fuentes de contaminación de origen natural, como son volcanes, efectos geoclimáticos (10).
- **Antropogénica.** Es aquella que es producida o distribuida por el ser humano, por ejemplo: la basura, el smog, descargas de agua contaminada de procesos industriales (10).

### 3.3 Contaminación antropogénica

El resultado de la contaminación sobre el medio ambiente es su simplificación y regresión; un ecosistema contaminado es un ecosistema explotado y como tal, es un ecosistema poco diversificado en especies. El hombre está ligado íntimamente a la Naturaleza y de hecho depende de ella, cualquier alteración en el ecosistema repercute sobre la especie humana y puede conducirla a su extinción (30).

### 3.3.1 Contaminación atmosférica

La emisión de contaminantes atmosféricos se relaciona directamente con varias fuentes: la producción de energía, el consumo de combustibles para el transporte, algunos procesos industriales y la generación de desechos entre otros, siendo éstos los más importantes (40).

Los contaminantes se han clasificado en partículas suspendidas totales, que incluyen polvo, polen, cenizas, metales, humos y materia orgánica volátil; bióxido de azufre, generado en los procesos de combustión, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono principalmente.

#### 3.3.1.1 Contaminación por compuestos de carbono

El uso de combustibles fósiles tiene como consecuencia la liberación de grandes cantidades de anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) y monóxido de carbono (CO).

El anhídrido carbónico no puede ser considerado como un enemigo del ecosistema ya que es un producto normal del metabolismo y es empleado por los vegetales para incrementar la biomasa. Sin embargo, a concentraciones altas este gas es un filtro de las radiaciones reflejadas por las aguas y el suelo, devolviéndolas de nuevo hacia la superficie terrestre. Esto implica un recalentamiento de la atmósfera.

El monóxido de carbono tiene una gran importancia como una fuente contaminante para los seres vivos. El (CO) respirado reacciona fácilmente con la hemoglobina bloqueando la absorción de oxígeno, produciendo asfixia (28).

Se calcula que México es responsable de 1.4% del volumen mundial de bióxido de carbono derivado del consumo de combustibles fósiles. A finales de los ochenta

ocupaba el duodécimo lugar en la generación de este y es posible que últimamente ocupe el noveno (32).

### 3.3.1.2 Contaminación por compuestos de azufre

La combustión de carbón y petróleo suele liberar cantidades importantes de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ). Este gas ataca a las células que revisten los conductos respiratorios.

El  $\text{SO}_2$  en presencia de luz ultravioleta y oxígeno reacciona formando trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ) y ozono ( $\text{O}_3$ ). Si este trióxido se encuentra en una atmósfera húmeda puede llegar a formar ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). El ácido sulfúrico queda en suspensión en el aire hasta que es arrastrado hacia el suelo por acción de la lluvia.

A este tipo de precipitación se le suele llamar lluvia ácida y en altas concentraciones es la causa del empobrecimiento en nutrientes del suelo y de su infertilidad. El agua ácida lava los metales que se fijan en los coloides del suelo propiciando carencia de nutrientes y un desarrollo anormal de los vegetales (28).

### 3.3.2 Contaminación hídrica

El incremento de la población humana ha propiciado una utilización intensiva de los recursos hídricos para hacer posible toda una amplia gama de actividades domésticas, industriales y agrícolas.

La actividad industrial, gasta importantes cantidades de agua que a menudo acaba por ser inutilizable.

Los productos de la actividad industrial pasan a ser utilizados por vía doméstica y agrícola, como es el caso de los detergentes y los fertilizantes que son muy

utilizados y que alteran la calidad del agua, afectando el manto freático, ríos y lagos (40).

Por otra parte la contaminación por materia orgánica, que es generada por el hombre en cantidades excesivas, repercute sobre los mantos acuíferos; los vertidos de agua contaminada agotan el oxígeno disuelto y por tanto influye para la eliminación de la comunidad biótica preexistente.

La materia orgánica que se introduce en los depósitos de agua induce a toda una serie de cambios muy interconectados, en aguas muy contaminadas por materia orgánica suele existir una gama de macro y micro organismos: suelen abundar larvas de mosquitos *Culex* y de otros insectos (*Chironomus*) así como bacterias coliformes ( *Escherichia*, *Streptococcus*, *Salmonella*, *Vibrio* ), así como distintas especies de algas(30).

### 3.3.3 Contaminación del suelo

El abuso de la fertilización química puede ocasionar cambios irreversibles en la naturaleza y estructura de los suelos. El abuso de fertilizantes puede propiciar la eliminación de muchos microorganismos y animales que son responsables de la estabilidad de un suelo, y que pueden evitar su erosión y por consiguiente la pérdida del mismo (34).

#### 3.3.3.1 Uso de fertilizantes

Las consecuencias de un uso inadecuado de fertilizantes se puede hacer patente por una contaminación de las aguas cercanas a ríos y lagos. Las sales no fijadas por el suelo son lixiviadas o lavadas por el agua de lluvia o del riego hasta las capas freáticas inferiores y de ellas hasta las cuencas fluviales y lacustres propiciando un desequilibrio irreversible. a corto plazo el uso excesivo de

fertilizantes en el suelo provoca la salinización y en consecuencia su improductividad (34).

### 3.3.3.2 Uso de plaguicidas

Los plaguicidas también son un elemento muy importante para la contaminación del suelo. Se conoce como plaguicida toda aquella sustancia química que tiene como objeto la eliminación de vegetales y animales perjudiciales para la agricultura. Se clasifican en tres grupos: herbicidas, insecticidas y fungicidas.

Los primeros suelen ser poco peligrosos, sin embargo algunos inhiben la fotosíntesis vegetal. Los fungicidas tienen como misión eliminar distintos hongos parásitos. Los insecticidas son sin lugar a duda, los contaminantes que más repercusiones han tenido sobre la Naturaleza(30).

En el caso particular de México, los problemas de contaminación del suelo aun no son cuantificados con precisión e incluyen a los derivados por el uso de agroquímicos (fertilizantes y pesticidas), así como a los provocados por derrames y fugas de combustibles; asimismo, lo relacionado a las actividades mineras (34).

### 3.3.4 Generación de desechos

En el pasado los hábitos de consumo y un modo de vida más apegado con la Naturaleza aunado a una menor tasa demográfica, originaban una producción de residuos que por su concentración y su composición no suponían una amenaza para el entorno.

Por otra parte, uno de los causantes sustanciales de la contaminación es sin duda alguna la generación de basura y es importante tomar medidas para su disminución y su aprovechamiento.

El principio sustancial comienza por el gran consumo de recursos naturales en los tres sectores de producción. Los desechos sólidos se han convertido en un problema público grave acentuándose en lugares con gran población y precisando soluciones técnicas.

#### 3.3.4.1 Residuos sólidos municipales

Los residuos sólidos municipales (basura) incluyen los desechos domiciliarios, los generados por los comercios por pequeñas industrias, así como los producidos en mercados y jardines públicos.

Así en la Ciudad de México se generan más de 4 millones de toneladas anuales de basura, es decir, más de 11 mil toneladas diarias y en complemento en 28 municipios conurbados del Edo. de Méx. generan 6,500 toneladas diarias (32).

El material más común hallado son los desechos orgánicos. Se estima que en 1989 la producción nacional de basura domiciliaria era de 52 mil toneladas diarias, para 1992 de 60 mil (32).

Y se estima que la generación nacional de residuos sólidos municipales en 1998 fue de 84,200 toneladas por día (35).

De esta forma la producción de residuos por persona en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México es de aproximadamente 1.35 Kg. diarios, volumen que demanda acciones de limpieza, transferencia, tratamiento y disposición final (33).

La generación media de residuos per capita aumentó de 0.650 kg/hab/día en 1988 a 0.865kg/hab/día en el año 2000 (35).

En particular, un problema sustancial lo constituyen los tiraderos a cielo abierto, ya que representan un riesgo para la salud de la población y la calidad de vida, así

como una amenaza para el ecosistema. Del total de basura recolectada cerca del 43% se destina a rellenos sanitarios, mientras que el resto 57% suele depositarse en tiraderos a cielo abierto(32).

Todas las sociedades humanas han producido y producirán desechos pero actualmente los problemas que se asocian a su generación y eliminación son de tal magnitud, que se hace necesario avanzar hacia un desarrollo compatible con la protección del medio ambiente.

Para dar solución a estos problemas es necesario que se demanden soluciones viables acordes a modelos económicos, sociales, culturales y tecnológicos.

### 3.4 Los principios de la energía

La Tierra es tal como es gracias a la enorme cantidad de energía que llega a ella en forma de radiaciones electromagnéticas provenientes del Sol (30).

Y el calor subterráneo debido a la radioactividad natural, a las fuerzas gravitatorias y rotacionales del sistema solar, a las reacciones nucleares provocadas por la fisión y la fusión que han hecho posible la existencia de la vida, ésta a la vez ha contado con fuentes energéticas adicionales para su sobre vivencia desde hace millones de años (22).

#### 3.4.1 Definición de la energía

La energía es un factor importante en la vida del planeta y en el desarrollo tecnológico y debe considerarse como que es esa capacidad de la materia que hace posible las transformaciones que se realizan en la misma materia, de aquí que pueda denominarse a la energía como aquella capacidad para producir un efecto (27).

Los efectos, incluso los muy pequeños requieren energía, esta aparece en diversas formas y puede transformarse de una en otra (42).

La palabra energía, abarca una noción abstracta, un concepto difícil, aunque todos estamos familiarizados con los efectos de la energía y con los usos que se hacen de ella.

Tres conceptos que son utilizados en forma clásica y que amplían el panorama son: (9).

- La energía es la capacidad para realizar un trabajo.
- La energía es aquella que debe suministrarse o cederse a un sistema material para transformarlo.
- La energía no se puede crear ni destruir, solo transformar.

#### 3.4.2 Los recursos energéticos

Los recursos energéticos están constituidos por reservas naturales, los cuales pueden encontrarse en forma de yacimientos de combustibles fósiles, de materias nucleares, de acumulación de agua, de calor telúrico, o se pueden presentar en otros estados naturales antes de ser transformados por el hombre. El hombre desde que fue capaz de utilizar el fuego, ha usado como combustibles distintos materiales existentes en su entorno inmediato, como la madera y otros restos orgánicos (30).

En el siglo XVIII el recurso energético fue la madera, pero ya en el siglo XIX además de la madera se usó el carbón, sobre todo en el último tercio de dicho siglo. El siglo XX fue el siglo del petróleo. Se dio una dependencia creciente de los hidrocarburos (petróleo y gas natural) aunque esta dependencia continúa hoy en

día. Para el presente siglo se seguirá empleando el carbón relativamente menos, empezaran a declinar los hidrocarburos, cuyo agotamiento se prevé muy próximo quizás a mitad de siglo (1).

### 3.4.3 Energía renovable y no renovable

El hombre como especie ha tenido la necesidad de utilizar sus recursos naturales para cubrir sus necesidades energéticas, estos recursos se enmarcan en dos tipos o formas; es decir, como recursos renovables y no renovables. Los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) son recursos no renovables.

Las fuentes de energía renovable son: la energía hidráulica; la energía solar que es inagotable para el hombre, la energía geotérmica también inagotable, la energía del viento, la energía de la biomasa, todas estas con un gran potencial para el futuro. Estas fuentes ofrecen las ventajas de ser inagotables y de no presentar contaminación ni trastornos en su uso (38).

Para tener una mejor idea de lo que son las diferentes formas o fuentes de energía se debe partir de algunos conceptos y definiciones, establecidos por especialistas en la materia.

- **Energía Radiante.** Es aquella energía que procede del Sol, que cubre un espectro muy amplio, que comprende las ondas de radio, de televisión, el infrarrojo y la luz visible, el ultra violeta, los rayos X, los rayos gamma.

Comprendida como la energía solar que recibe la superficie terrestre que puede convertirse en energía útil (Calorífica, mecánica o eléctrica) mediante diversas aplicaciones tecnológicas (1).

Esta forma de energía se propaga en el vacío a una velocidad próxima a 300.000 km/s (9).

- **Energía Mecánica.** Esta energía existe en dos formas: Energía mecánica potencial y energía mecánica cinética o de movimiento (1).

No depende de la composición de la materia, ni de la naturaleza de las moléculas que la constituyen, pero sí de la masa de un objeto de esta materia, de las posiciones y de los desplazamientos de este objeto (27).

- **Energía Química.** Propiciada por la transformación de un producto químico en otro. Los alimentos y los combustibles son un ejemplo (1).

Esta energía se encuentra íntimamente ligada a la estructura de la materia y es la que asegura los enlaces entre átomos en las moléculas(9).

- **Energía Eléctrica.** Es la atracción o repulsión entre cargas eléctricas positivas y negativas; de las fuerzas que existen entre conductores; de la producción de campos magnéticos (1).

- **Energía Hidroeléctrica.** Se lleva a cabo aprovechando la caída de agua que se origina por la diferencia de altura en un terreno; esta caída de agua genera energía cinética la cual es utilizada para mover un turbogenerador y producir energía eléctrica en las centrales hidroeléctricas (1).

- **Energía Eólica.** Es la que utiliza la energía cinética de los vientos y puede aprovecharse como tal que a su vez, puede convertirse en electricidad (1).

- **Energía Geotérmica.** Es la energía conocida con el nombre más familiar de calor. Corresponde a un movimiento desordenado de átomos o de moléculas que constituyen los objetos materiales (9). Se manifiesta como la energía calorífica del interior de la Tierra, la cual se transforma en energía mecánica y eléctrica a través de un turbogenerador (1).

- **Energía de Biomasa.** La biomasa es toda materia orgánica que puede convertirse en energía útil ( esta formada por pastos, cultivos, plantas acuáticas y los desechos orgánicos, forestales, agrícolas y animales) (1).
- **Energía Nuclear.** Es aquella energía producida en reactores nucleares, que liberan calor como producto de la fisión nuclear controlada. Para el funcionamiento del reactor se requiere como combustible Uranio y Torio (1).

Los avances en la ciencia y la tecnología han propiciado que el hombre moderno haya aprendido a usar las diversas formas de energía y a transformar un tipo de energía en otro (43).

Las diversas formas de energía han requerido esfuerzos de estudio e investigación por parte de científicos especialistas en termodinámica, ciencia que estudia todas y cada una de las formas en que puede manifestarse la energía y las transformaciones posibles entre los distintos tipos (22).

### 3.5 Combustibles de uso doméstico

La mayoría de los combustibles contienen básicamente carbono e hidrógeno en forma orgánica e inorgánica.

#### 3.5.1 Definición

Se llama combustible a cualquier sustancia que reacciona químicamente con un agente oxidante y que se puede utilizar con fines energéticos.

Los combustibles son una fuente de energía que se utiliza para elevar la temperatura de un sistema y poder generar un trabajo.

La combustión es una reacción de oxidación que produce óxido y dióxido de carbono, vapor de agua y dióxido de azufre, acompañados de un desprendimiento

de calor. La cantidad total de calor que se obtiene en una combustión completa en el aire por unidad de combustible es su valor calorífico (3).

La potencia calorífica de un combustible es la energía liberada por unidad de peso o de volumen del mismo. Para los combustibles sólidos o líquidos la potencia calorífica se expresa en Kcal por Kg y para los gaseosos en Kcal por metro cúbico de gas medido a una temperatura de 15.6 °C y una presión absoluta de 762mm de mercurio (37).

Poder calorífico de los principales gases (24).

Metano	CH <sub>4</sub>	13,284 kcal/kg
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	11,864 "
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	12,473 "
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	12,059 "

De todos los tipos de combustibles, los gaseosos son los que ofrecen mayores ventajas: facilidad de transporte, combustión sin humo, precisión en su medida y facilidad de control a la temperatura de la atmósfera.

Los descubrimientos de grandes depósitos de gas natural y petróleo, han favorecido la utilización de combustibles líquidos y gaseosos, en vez de los combustibles convencionales como el *coque*, la *hulla* y el *lignito*; utilizados principalmente a raíz de la primera revolución industrial. Se puede decir que los países desarrollados han seguido la tendencia favorable a la utilización de gas natural (45).

### 3.5.2 Gas natural

Se encuentran depósitos de gas natural en distintas regiones del mundo. La composición del gas varía según la situación geográfica de los yacimientos y el

tipo de éstos, pero generalmente se trata de metano mezclado con hidrocarburos de mayor peso molecular, con otros gases y con compuestos inertes. El gas natural se presenta unas veces en yacimientos aislados y otras mezclado con petróleo; en este último caso, el desprendimiento del gas se produce al reducirse la presión en las instalaciones de separación y su composición varía con la "presión de desprendimiento", que está en relación directa con el contenido de metano (1).

El gas natural que se extrae directamente de los yacimientos sin mezcla de petróleo, consta principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ) con pequeñas cantidades de etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) e hidrocarburos de mayor peso molecular. Son muy volátiles y pueden reducirse al estado líquido o transformarse en otros combustibles (36).

El gas natural se emplea principalmente para fines domésticos. Puede usarse alternativamente o simultáneamente con gas-oil en motores de combustión interna.

El gas natural es ideal para quemarse en los hogares por lo siguiente.

- 1) No contiene ni cenizas ni residuos.
- 2) Se mezclan fácilmente con el oxígeno.
- 3) Se adaptan perfectamente al control automático.

El gas natural contiene en la mayoría de los casos de un 60% - 96% de metano y de un 4% - 40% de etano y otros hidrocarburos de peso molecular más elevado, perteneciente a la serie de las parafinas.

### 3.5.3 Gases de petróleo licuado

Los gases de petróleo licuados son el propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) y el butano ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) extraídos por licuefacción del gas natural o de los gases de refinería. Las refinerías de petróleo y las instalaciones de depuración de gas natural son las principales fuentes de abastecimiento de gases de petróleo licuado. Estos gases

son buenos combustibles, tienen grandes ventajas así como desventajas, como ventajas su fácil transportación y distribución a los centros de consumo. las desventajas su alto costo y su elevado grado de contaminación. Al quemarse liberan sustancias como el monóxido de carbono (CO), muy venenoso para los animales incluyendo al hombre, distintos compuestos sulfurados con importantes efectos sobre la vegetación y la fertilidad de los suelos y toda una serie de compuestos del nitrógeno, cloro, flúor y metales pesados (plomó, mercurio, zinc, cobre), lo cual nos da una idea de su alto grado de contaminación (36).

### 3.6 El problema de los energéticos

La explotación del petróleo que tiene su auge en el siglo XX y que continúa en este siglo, nos hace ver la importancia que tiene tal recurso, el abuso que se da por su sobreconsumo como energético, aunado a su utilidad como materia prima de la industria petroquímica de miles de productos sintéticos, hace necesario el cuidado de este recurso en un futuro no muy lejano. Millones de barriles de petróleo son quemados diariamente en el mundo con el fin de abastecer de energía calorífica a miles de centrales eléctricas (29).

Aunque se siguen descubriendo yacimientos petrolíferos, los especialistas, coinciden en que las reservas mundiales de dicho combustible habrán de agotarse en un plazo relativamente corto (menos de 100 años), si se continúa con la cada vez más creciente demanda de este producto y sin utilizar nuevas fuentes alternativas de energía (29).

#### 3.6.1 Los energéticos en México

Hace poco más de tres siglos, las fuentes de energía disponible eran:

- 1) La energía que llega del Sol.
- 2) La energía mecánica.
- 3) La energía de la tracción animal.

El combustible básico en esos tiempos y ya menos en la actualidad era la quema de la madera. Hace dos siglos, la madera continuaba siendo el principal energético, hasta que se inició el uso intensivo del carbón mineral al emplearse en las operaciones de la maquina de vapor, el carbón mineral era el principal energético al final del siglo XIX. Ya para el siglo XX, los hidrocarburos ( petróleo y gas natural) son el energético más importante.

### 3.6.2 Consumo energético en México

México depende actualmente en 90% del petróleo y el gas para cubrir sus necesidades energéticas, en un 5% de la quema de madera y desechos agrícolas, en 2.6 % de la hidroenergía, en 1.2% de carbón mineral, en 0.6% de geotermia y en 0.6% de energía nuclear (14).

En el año de 1997, el sector residencial, a nivel país, consumió el 18.8 % ( 119.01 millones de barriles de petróleo crudo<sup>1</sup>). La mezcla energética del sector fue:

Leña	(35.29 % )
Gas licuado	( 44.07 % )
Electricidad	( 15.30 % )
Gas natural	( 5.05 % )
Kerosina	( 0.29 % )

La leña consumida en el sector residencial represento el 6.63 % del consumo total energético del país, en tanto que el gas licuado consumido representó el 8.28 % del consumo total energético del país (31).

Según el censo del año 2000 la población del país fue de 97,483,412 habitantes, con aproximadamente el 30 por ciento de población rural y con más de la mitad de la población viviendo en ciudades de más de 100.000 habitantes. De esta

---

<sup>1</sup> Un barril de petróleo equivale a 158.7 litros.

población se tienen 21.513,235 viviendas las cuales utilizan un tipo de combustible (16).

Gas	(17.558,152)
Leña	(3.653,178)
Carbón	(41,659)
Petróleo	(5,807)
Electricidad	(74,174)
No especificadas	(180,265)

Estas cifras son la pauta que nos alerta de la necesidad de aprovechar de una forma más racional los recursos naturales, y los recursos energéticos; así como de implementar nuevas alternativas tecnológicas para generar algún tipo energía.

#### 3.6.2.1 Consumo de gas licuado

En el año de 1997, el consumo de gas licuado fue por un total de 286, 806 barriles de gas licuado por día. Es decir el 37,23% de la producción anual nacional de gas licuado. De esta cifra el 38% del consumo total anual se realiza en el sector urbano (14).

#### 3.6.2.2 Consumo de leña

El uso de la leña como combustible sigue concentrándose en el sector rural, donde su consumo es constante en estos últimos años, ya que se cuenta en gran cantidad de casas con su tradicional fogón o cocina de humo y muy pocas de estas con estufa de gas. Sin embargo el consumo de gas licuado mantiene un crecimiento muy rápido, lo cual refleja una tendencia hacia posibles crisis energéticas.

### 3.6.2.3 Política de precios

Según las cifras anteriores, diversos son los factores para el consumo de un determinado energético, sin embargo el gas es el de mayor uso lo cual probablemente propicie las políticas de ajuste mensual del gas para uso doméstico que representan desembolsos que obligan a destinar una porción creciente del ingreso de los hogares para cubrir esta necesidad básica y que ha propiciado una crisis económica y energética.

## 3.7 El biodigestor

### 3.7.1. Definición

El biodigestor se define de muchas formas; es decir, se puede definir como un reactor donde se lleva a cabo un proceso de fermentación anaeróbica donde intervienen una serie de reacciones biológicas en ausencia de oxígeno y que propicia la generación de gas metano (5).

Un biodigestor, también se puede definir como una implementación tecnológica de un sistema cerrado para utilizar productos orgánicos que siguen un proceso de metabolización y generación de subproductos aprovechables como son biogas y bioabono (21).

Un biodigestor. es un reactor donde se lleva a cabo una digestión o fermentación; es un sistema cerrado, cuyo interior es anaerobio (carente de oxígeno) y dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (44).

### 3.7.2 Antecedentes

La degradación de materia orgánica por bacterias anaeróbicas para producir metano es un proceso que ocurre naturalmente. Constituye uno de los principales mecanismos de putrefacción en la Naturaleza (8).

La mezcla de gases que se genera en forma natural, se le llama "gas de los pantanos"; fue descubierto y reportado por Shirley en 1667 y es el responsable de los llamados "fuegos fatuos". La producción de metano por descomposición de materia orgánica se conoce desde el siglo XVIII. Volta fue el primero en reconocer una relación entre el gas de los pantanos y la vegetación en el fondo de los lagos (23).

En 1808 Sir Humphrey Dhabí colectó el metano e inició la experimentación que puede considerarse como el principio de la investigación en este campo; sin embargo su interés no estaba enfocado a resolver problemas de energía (19).

En 1883-1884 Pasteur y su colaborador Gayón concluyeron que la fermentación de estiércol en ausencia de aire producía un gas que podía ser usado para calefacción e iluminación (19).

Durante el decenio 1870-1879 se construyeron en Inglaterra unas cuantas plantas de biogas(36). En 1896 el biogas fue utilizado en el alumbrado de una calle de Exeter, Inglaterra, siendo ésta su primera aplicación importante(19). Schroder y Fisher demostraron que en ciertas condiciones la fermentación anaeróbica de un vegetal muerto transforma la celulosa y produce metano (8).

Durante la Segunda Guerra Mundial, en Francia y Alemania se construyeron grandes fábricas productoras de biogas, que se emplearon para obtener energía para los tractores y automóviles (39).

Los digestores para desechos animales han sido propuestos insistentemente como una solución apropiada para los países en desarrollo. Los países con mayor número de digestores instalados de este tipo son China y la India. En ambos países los esfuerzos organizados para la difusión de esta tecnología se inició durante los años sesenta. En China se reporto la existencia de alrededor de siete millones de biodigestores instalados en 1981, mientras que en la India su número ha crecido de unos 50,000 en 1978 a unos 100,000 en 1981. Otros países con una cantidad importante de biodigestores son Corea, que entre 1969 y 1973 instaló unos 24,000 y Taiwán, con unos 7.500 en 1977. La casi totalidad de esos digestores son de tipo mesófilo y de pequeña capacidad, llamados de tipo familiar (de 3 a 10m<sup>3</sup> de capacidad) (7).

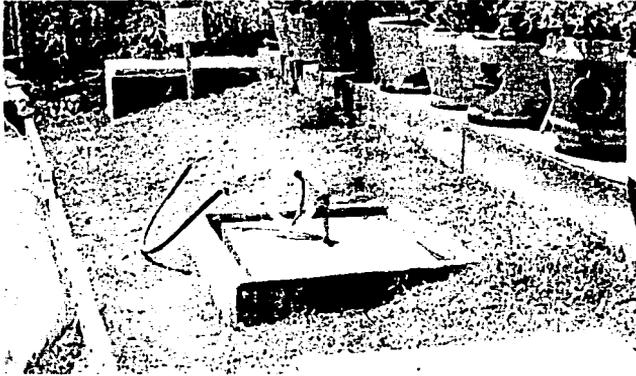
En Estados Unidos durante el decenio 1970 – 1979 se construyó un digestor gigante de 15.600 m<sup>3</sup> de capacidad, que se destinaría a suministrar gas (45,000 m<sup>3</sup>/día) para satisfacer las necesidades de calefacción de unos 3,500 hogares al año en Chicago (39).

El Ecotope Group en Monroe Washington (1979) proyectó y construyó un digestor de 190 m<sup>3</sup> para tratamiento de excrementos de porcino en Missouri, el cual se realizó con los materiales disponibles localmente(39).

Por otra parte en América Latina también se tienen antecedentes de la aplicación de la tecnología de biodigestión anaeróbica, particularmente en Costa Rica, Brasil, Chile y Uruguay (26).

Los antecedentes a nivel nacional son más recientes y aunque no hay fecha precisa del inicio de esta tecnología en el país, se podría pensar que el proyecto Xochicalli A.C. pudiera ser de los iniciadores, ya que en 1975 diseñaron y construyeron dos digestores de alimentación continua, uno de ellos de 450m<sup>3</sup>  
Figura 1

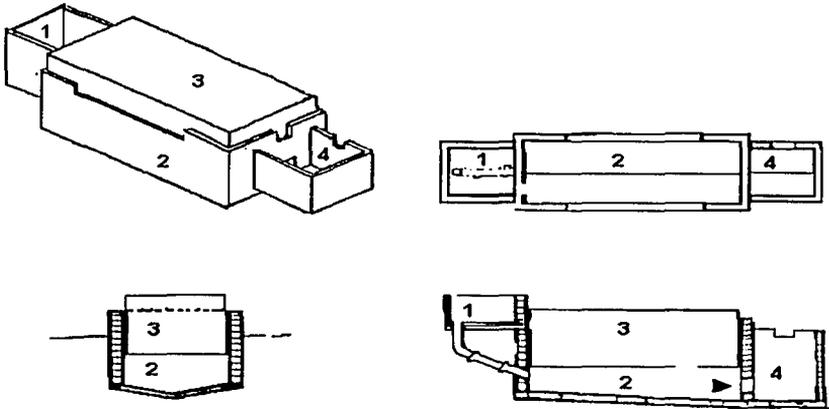
Se estima que en 1981 en México se invirtieron en programas de investigación y desarrollo de tecnología para aprovechamiento de biomasa alrededor de 15 millones de pesos, lo que representó aproximadamente el 0.05% de la inversión total nacional en investigación y desarrollo y cerca del 0.75% del total dedicado a la investigación y desarrollo sobre energía. La tecnología más estudiada en México y quizá la única investigada seriamente y de manera sostenida es la **biodigestión anaerobia** (7).



*Figura 1. Biodigestor de alimentación continua. Xochicalli, A. C.*

El Instituto de Investigaciones Eléctricas en Cuernavaca, Morelos, se han desarrollado biodigestores mesófilos con capacidad de hasta 40m<sup>3</sup>, algunos han sido implantados en comunidades rurales (7).

El Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, con sede en Xalapa, Veracruz, ha realizado investigaciones, construido y operado sus propios biodigestores (2). Figura 2



Corte  
Transversal

Corte  
Longitudinal

1. Pileta de carga
2. Digestor
3. Gasómetro
4. Pileta de descarga

Figura 2 Biodigestor horizontal semicontinuo tipo INIREB (2).

En el Instituto de Ingeniería de la UNAM se ha estudiado la biodigestión mesofílica tanto a nivel laboratorio como con prototipos de biodigestores(7).

El Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, de la Universidad Nicolaita de Morelia, Michoacán, construyó y operó un biodigestor de 5.6m<sup>3</sup> de alimentación continua (7)..

### 3.7.3 Tipos de biodigestores.

Hoy día existen a nivel mundial cerca de 70 modelos de biodigestores, donde cada país de acuerdo a sus necesidades idiosincrasia, recursos disponibles, diseñan su propio modelo que cumpla la función específica para cada caso (6). sin embargo, es poca la investigación sobre el tema y mucho menos los usados y fabricados comercialmente.

#### 3.7.3.1 Digestores de una etapa

La biodigestión se realiza en un solo lugar o recipiente e incluyen:

Lagos de estabilización. Rellenos sanitarios y fosas sépticas (generalmente son empleados para resolver problemas de tipo sanitario y no con propósitos energéticos).

- Digestores convencionales. Son tanques para desechos en los que tiene lugar la estabilización biológica y la separación sólido-líquido; los tiempos de retención son grandes (15-30 días para líquido y 40 a 60 para sólidos); operan a baja velocidad de carga; existen dos diseños básicos: el Hindú y el Chino (44).

En el diseño Hindú los domos son flotantes y las paredes y el fondo planos.

En el diseño Chino el domo está fijo, no tiene paredes separadoras en el fondo del digestor y las paredes y el fondo son cóncavos. Figuras 3 y 4

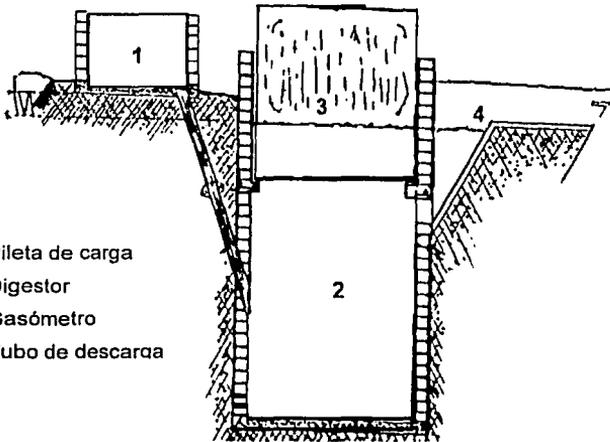
- Digestores tipo bolsa. Originados en Taiwán, están contruidos totalmente con materiales plásticos, son compactos y ligeros, de fácil ensamble y operación, con geometría cilíndrica e instalados con el eje en posición horizontal (12).

- Digestores de alto rendimiento: incluyen un mecanismo para agitar la mezcla (mayor contacto de bacterias en el sustrato) y algún medio de calentamiento para asegurar una temperatura estable óptima para la reacción; tiene tiempos de retención menores que los convencionales(7).

### 3.7.3.2 Digestores de dos etapas

Comúnmente empleados en el tratamiento de aguas negras, consta de dos digestores y tienen tiempos de retención pequeños (5 a 10 días ). Incluyen:

- Digestores de dos pasos; básicamente una combinación de un digestor de alto rendimiento y uno convencional que se emplea para concentrar y separar los sólidos.
- Digestores de dos etapas; formados por dos digestores de alto rendimiento conectados en serie; uno para producción de ácido y otro metano (7).

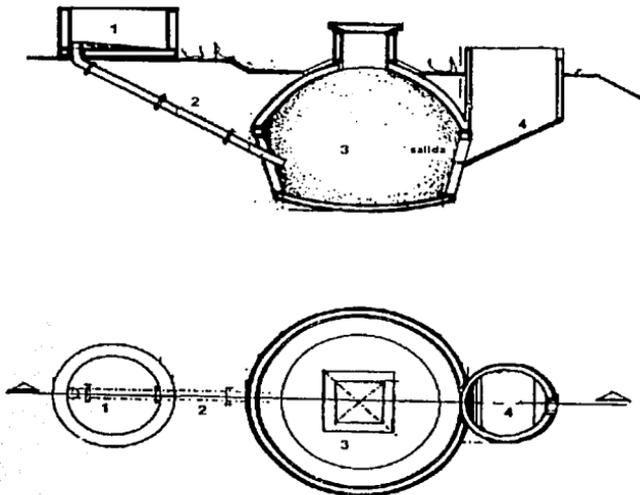


1. Pileta de carga
2. Digestor
3. Gasómetro
4. Tubo de descarga

Figura 3. Biodigestor tipo hindú (44).

### 3.7.3.3 Digestores de contacto

Con una recirculación de sólidos. La fracción de los sólidos llega a un segundo tanque de un digestor de dos etapas y se recircula hacia el primero, reduciendo así el volumen requerido en el segundo (el tiempo de retención de líquidos es menor que el de los sólidos (7).



1. Pileta de carga
2. Tubo de alimentación
3. Digestor
4. Pileta de descarga

*Figura 4 Digestor esférico tipo chino (44).*

### 3.7.3.4 Digestores tipo Biomix (Biomechanics Ltd)

Consiste en una bomba tipo termosifón para mezclar el digestor y controlar la formación de nata y un cambiador de calor para elevar la temperatura a más de 35°C cuenta con un separador del producto (4). Figura 5

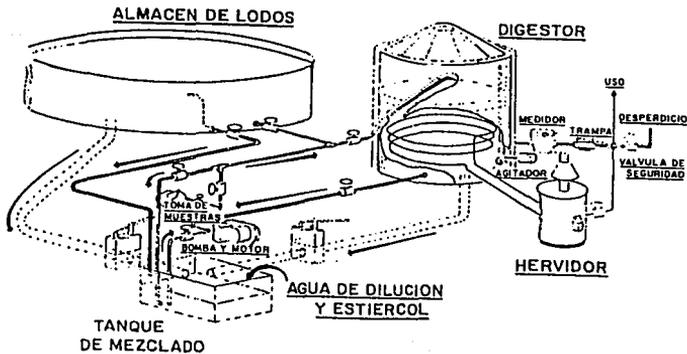


Figura 5 Diagrama de un reactor de gran capacidad (4).

### 3.7.4. Tipos de biodigestores según diseño y proceso

Las partes constituyentes básicas de un biodigestor, según criterios de diseño son: La pileta o zona de carga, la cámara de fermentación o reactor, la pileta o zona de descarga, el gasómetro o zona de captación de gas y el sustrato con que será alimentado (43).

### 3.7.4.1 Clasificación.

La clasificación más sencilla, en función del diseño del biodigestor por su posición y el tipo de proceso para ser alimentado, da varios tipos de biodigestores (2).

Esta clasificación se aplica para la mayoría de los biodigestores.

- 1.- Vertical continuo.
- 2.- Vertical discontinuo.
- 3.- Horizontal continuo.
- 4.- Horizontal discontinuo.

Estos biodigestores son considerados reactores de una etapa (6).

Son los que nos ocupan en el presente trabajo de investigación y se clasifican según el diseño como ya se menciona, en dos tipos es decir verticales y horizontales y según el proceso en continuos y discontinuos Figura 6

### 3.7.4.2 El proceso continuo

El término proceso continuo se aplica a un método por el cual el reactor se alimenta diariamente de materia prima y la producción de gas y fertilizante es continua. El material que se carga sucesivamente, expulsa automáticamente una cantidad equivalente de material ya procesado.

Los biodigestores de proceso continuo también son denominados sistemas de segunda generación por obtener un flujo de biomasa activo durante su funcionamiento (4).

Las principales tecnologías existentes son:

-Mezcla completa: La biomasa se elimina periódicamente a medida que lo hace el residuo orgánico digerido.

-Flujo pistón: Se basa en el desplazamiento horizontal a través de una sección longitudinal, cuenta con distintas secciones y estados de fermentación diferentes.

-Contacto o reciclado de lodos: En estos digestores se procede a realizar una decantación de la biomasa arrastrada por el efluente para introducirlo de nuevo en el interior del digestor (4).

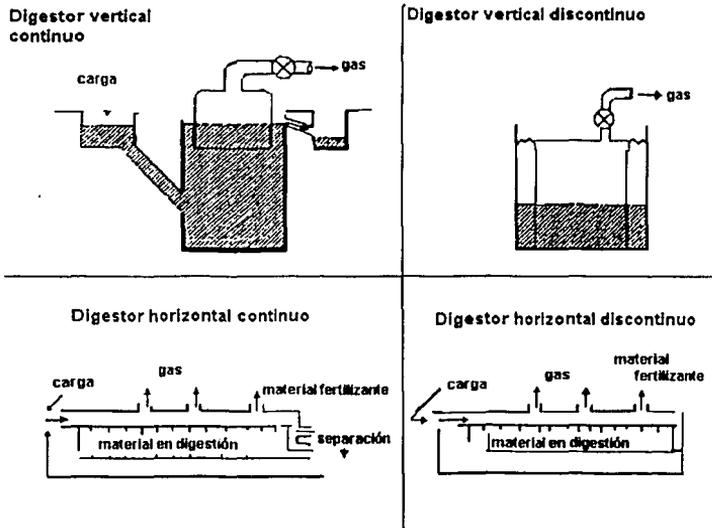


Figura 6. Diseño de algunos tipos de biodigestores (44).

### 3.7.4.3 El proceso discontinuo

El proceso discontinuo consiste en alimentar al reactor en una sola carga y esperar a que se lleve a cabo el proceso metanogénico, así como la obtención de gas en un periodo mas largo que en el proceso continuo, el proceso de alimentación discontinua va de 30 a más de 60 días. A los biodigestores con estas características se les llama sistemas de primera generación; Uno de los problemas de este tipo de biodigestores es que no hay una producción continua o constante de biogas (4).

### 3.7.5 Funcionamiento de los biodigestores

Es de suma importancia conocer el funcionamiento de un biodigestor, ya que de ello depende el éxito o fracaso de un sistema anaeróbico.

#### 3.7.5.1 Procesos de la biodigestión anaeróbica

La materia orgánica se descompone por medio de procesos aeróbicos y anaeróbicos.

Una de las formas de descomposición de la materia orgánica es la biodigestión anaeróbica, considerada como un proceso microbiológico que en condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno), transforma la materia orgánica y genera una serie de gases entre los cuales el metano es uno de los principales componentes.

Esta transformación de la materia orgánica se lleva acabo en tres etapas.

- Hidrólisis de polímeros o enzimática. Es un rompimiento de moléculas grandes a más pequeñas, los sólidos fermentables se transforman en

compuestos solubles. La hidrólisis se conoce como una etapa limitante, ya que algunos compuestos orgánicos resisten la acción bacteriana (8).

- Acidogénesis o acidulación. Los compuestos solubles (azúcares) son desdoblados en una mezcla compleja de ácidos orgánicos volátiles, como el acético, butírico, propiónico, valerico y láctico entre otros (4).
- Metanogénesis o metanación. En esta etapa la fermentación de los ácidos y alcoholes, favorece la presencia de bacterias anaeróbicas estrictas; estas bacterias son las encargadas de la producción de gas metano. Usualmente no son móviles, crecen con lentitud y se encuentran en forma natural en estiércoles, pantanos, y aguas negras (7). Cuadro 1.

Cuadro.1 Descripción de algunos géneros de bacterias metanogénicas (7).

Género	Colonia	Morfología	Dimensión, $\mu\text{m}$	pH óptimo
Metanobacterium formicium.	Rugosa	Barras, par, individual o cadena	2 – 15	---
M. cepa MOH	Rugosa	Barra, par, individual o cadena	2 – 4	7.5 – 8.0
M. arborphilicum M. cepa AZ	Suave	Barras, par, individual o cadena	2 – 3	6.8 – 7.2
Metanosarcina Barkeri	---	Sarcina	1.5 – 5.0	7.0
Metanobacterium rumunantium	----	Cadena de cocos	1 – 2	6.0 – 8.0
Metanococcus vanniellii	----	Cocos	0.5 – 4.0	7.4 – 9.0
Metanobacterium Mobile	----	Barras	----	-----
Metanobacterium termoautotrophicum	----	Barras	5 – 10	-----
Metanospirillum Hungatii	----	Barras espirales	50	-----

Muchas de las bacterias metanogénicas pueden vivir en medios que son básicamente fuentes simples de carbono, hidrogeno, nitrógeno y azufre; sin

embargo, la presencia adicional de moléculas orgánicas complejas estimula su crecimiento (7).

El 80% del metano producido se deriva de la descarboxilación del ácido acético, según la reacción:

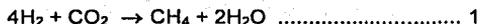


Otra parte del metano se deriva del dióxido de carbono, del ácido fórmico y del metanol, aunado a que las bacterias reducen el  $\text{CO}_2$  a metano en presencia de hidrógeno (4).



Las bacterias responsables de estos procesos son anaerobias estrictas y como ya se ha mencionado se les conoce como metanogénicas o formadoras de metano.

Las reacciones típicas de producción de metano en un proceso anaeróbico son las siguientes:



Las dos vías principales de metano son:

La conversión de hidrógeno y bióxido de carbono en metano y agua (Ecuación 1), y la conversión de ácido acético en metano y bióxido de carbono (Ecuación 3) (46).

Las bacterias metanogénicas son de crecimiento lento y por consiguiente son sensibles a parámetros externos que es preciso controlar. Entre estos factores

podemos destacar la temperatura, el tiempo de retención hidráulica, el potencial redox, el pH, alcalinidad, ácidos grasos volátiles, elementos tóxicos.

- **Temperatura:** Los procesos de digestión anaeróbica pueden clasificarse en tres tipos: psicrófilos (temperaturas óptimas de crecimiento inferior a 30°C); mesófilos (óptimo de crecimiento entre 30 y 45°C); termófilos (su temperatura óptima es superior a los 45°C y generalmente entre 50 y 60°C). La operación en el rango mesófilo es el de mayor difusión. Sin embargo para algunos autores los procesos en el rango psicrófilo tienen poca importancia por la pequeña tasa de actividad que presentan las bacterias metanogénicas que se desarrollan a esas temperaturas (4).
- **pH:** La digestión anaeróbica se desarrolla en condiciones óptimas a un pH de 7.0 – 7.2 pudiendo haber fluctuaciones entre 6.5 y 7.5.

Una solución demasiado ácida puede frenar bruscamente el proceso metanogénico. Si el pH aumenta traerá como consecuencia la formación de CO<sub>2</sub> y el proceso de digestión disminuirá; pero si el pH baja, las bacterias no serán capaces de utilizar los materiales ácidos adecuadamente y el proceso se detendrá completamente (17).

- **Tiempo de retención hidráulica:** Es el periodo de tiempo que el material orgánico a fermentar, debe permanecer dentro del biodigestor (44).

La fermentación anaeróbica de materia orgánica se efectúa mejor si ésta tiene un contenido de 8% de sólidos (17).



### 3.7.5.2 Propiedades del biogas

El metano es la base energética del biogas. Es muy ligero por lo que no se acumula al ras del suelo, como sucede con el gas propano y butano (8).

El biogas cuenta con las siguientes propiedades.

- Grado de inflamación 6 –12% de volumen en aire.
- Temperatura de inflamación 600 °C.
- Presión crítica 82 bar.
- Temperatura crítica -82 °C.
- Densidad 1.2 Kg / m<sup>3</sup>
- Poder calorífico (90% CH<sub>4</sub>) 7600Kcal/m<sup>3</sup> (4)  
8900Kcal/m<sup>3</sup> (2)

### 3.7.5.3 Mecanismos de funcionamiento

Los mecanismos de funcionamiento también juegan un papel importante para que se lleve a cabo un buen proceso de degradación de la materia orgánica y una excelente calidad de sus productos derivados, que son el biogas y el bioabono.

Algunos mecanismos son: La agitación, el suministro de temperatura, limpieza del gas,

- La agitación es un aspecto muy importante para la velocidad de producción de gas.

Dos factores hacen necesaria la agitación en un biodigestor. Primero la espuma formada por la propia fermentación y que se aloja en la superficie del material a tratar, reduce enormemente la generación de gas; y en seguida, la producción de

metano depende de la descomposición de finas partículas vegetales no digeridas, estas tienden a asentarse en el fondo del tanque o bien a flotar en la superficie (17).

Mediante la agitación se homogeniza el material y es mejor aprovechado.

- Suministro de temperatura. Existen diversas formas de suministrar temperatura al biodigestor.

Una forma que a la vez es la más utilizada, es por medio de serpentines en el interior y circulando agua caliente. Pueden ser fijos o rotatorios.

Calentando el líquido antes de su entrada y mediante intercambiadores de calor.

- Limpieza del gas. El gas generado en el biodigestor, llamado también biogas, tiene que pasar por un proceso de limpieza del ácido sulfhídrico (promotor de la corrosión) contenido en el material orgánico y el agua del biogas.

La composición del biogas es: Metano, dióxido de carbono, ácido sulfhídrico, hidrógeno, nitrógeno, humedad (8).

Las proporciones son:

Metano	65%
Dióxido de carbono	30%
Ácido sulfhídrico	0.1%
Hidrógeno	3%
Nitrógeno	0.9%
Humedad	1%

La energía procede principalmente del metano, mientras que el olor característico a huevo podrido procede de la gran cantidad de ácido sulfhídrico (39).

El ácido sulfhídrico presente en el biogas aunque es casi imperceptible, afecta cuando el gas se utiliza en la operación de maquinaria, pues ayuda al deterioro del metal (17).

Una manera de reducir su proporción, se consigue haciendo pasar el biogas a través de filtros de óxido férrico (25).

Otra forma para quitar esta impureza es haciendo pasar el biogas por una trampa de limadura de hierro (19).

El biogas esta saturado con vapor de agua. Un enfriamiento posterior del gas puede originar condensación y a su vez un bloqueo de medidores y tuberías (25).

El agua puede ser eliminada si pasamos el gas a través de cal viva (12).

Otra forma de eliminar esta agua es haciendo pasar el gas a través de un separador de líquidos, que consiste básicamente en un recipiente que guarda una temperatura más baja que el biogas (19).

El  $\text{CO}_2$  se disminuye mediante el paso del gas a través de agua de cal (12). La eliminación del  $\text{CO}_2$  del biogas aumentará su valor calorífico,(36). El hidrógeno aumenta el poder calorífico del gas, por lo que no es necesario eliminarlo (20).

## **4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR**

### **4.1 Diseño y proceso de construcción**

El diseño y la construcción del biodigestor se llevo a cabo en el laboratorio de termofluidos de la Carrera de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (IME) de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.

La construcción se inicia con la recolección de todo tipo de materiales que sean de desecho o que pueden tener una utilidad, aparatos de medición en buen estado y por supuesto todo aquel material que es necesario que sea nuevo.

### **4.2 Elementos de construcción**

El biodigestor se construye con un contenedor de 200 litros de capacidad, cuyo material es metálico, un agitador de aspa, un ducto de lámina galvanizada para la alimentación del producto, llaves de presión para la salida del gas, mangueras de plástico de diferentes tipos para niveles y como conductores de gas, dos resistencias eléctricas para mantener la temperatura del sustrato, filtros para limpiar el gas y una serie de tubos para la conducción del gas al gasómetro, el cual se compone de un contenedor de 200 litros, uno de 100 y uno de 20. Así como instrumentos de medición para el gas, para la presión como manómetro y termómetro para la temperatura. Figura 7

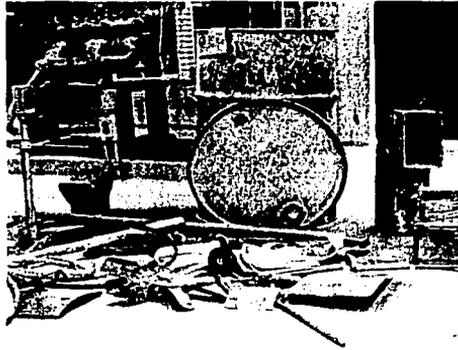
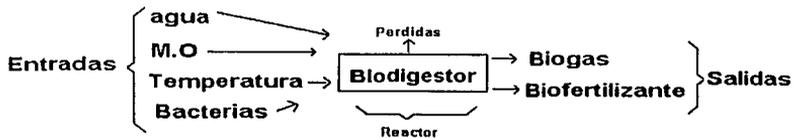


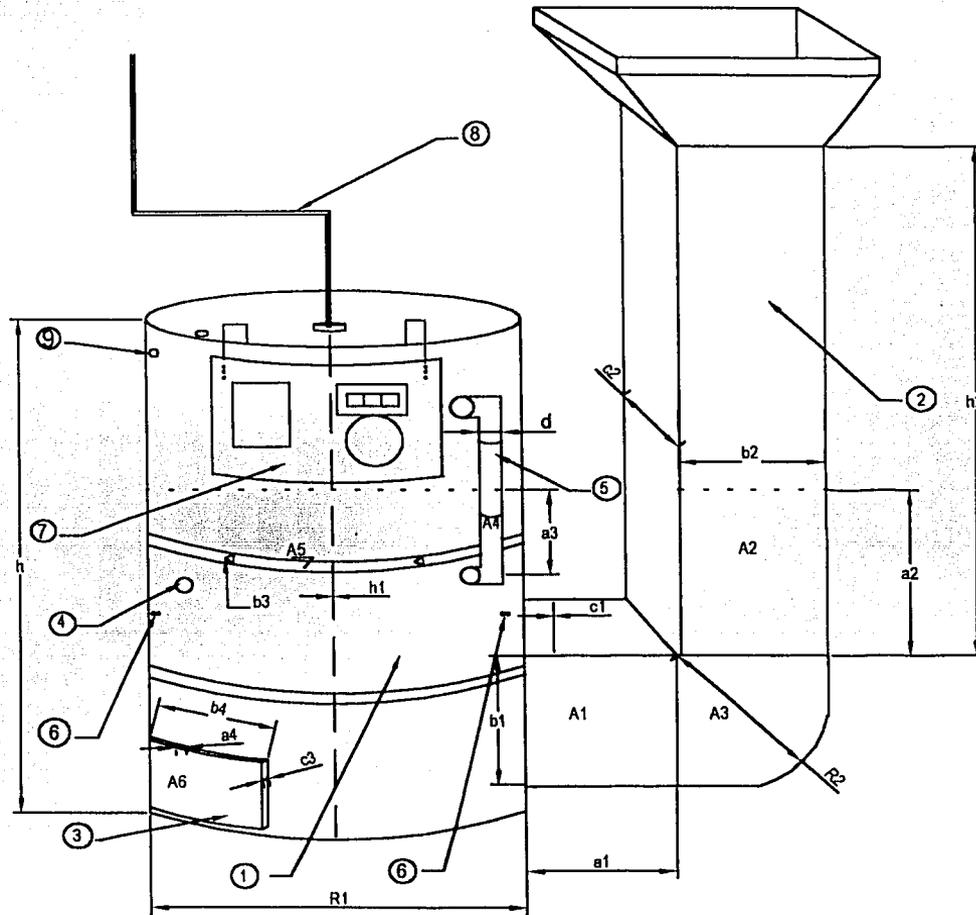
Figura 7 Accesorios para la construcción del biodigestor.

#### 4.3 Procedimientos para el diseño.

Ya concentrados todos los materiales anteriormente descritos y contando con el banco de trabajo de los dos laboratorios de IME y con las herramientas necesarias, se podrán establecer los elementos básicos para realizar el diseño y poder construir el biodigestor.

Estos elementos pueden contemplarse a partir del siguiente diagrama.





Descripción		Proyecto. Biodigestor anaeróbico.	
1 Reactor	Medidas para determinar el volumen y la masa total, que se requiere para el funcionamiento del reactor.	Especificación. Medidas para determinar el volumen.	
2 Ducto de carga	a1=23.5    b3=2.5    h=86.5	Realizo. Jorge Gómez Romero.	
3 Puerta de descarga	a2=34.5    b4=21.25    h1=58	Plano No. 1	Acotación. cm    Fecha. Abril - 2002
4 Área de termómetro	a3=40    c1=14    h2=87	Revisó. Ing. Filiberto Ieyva Peña	
5 Manguera de nivel	a4=1.25    c2=13.5    R1=57	Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez.	
6 Resistencias	b1=22.5    c3=16.0    R2=22.5		
7 Tablero de instrumentos	b2=21.5    d=3.7		
8 Manivela del agitador			
9 Tubo para el manómetro diferencial			

#### 4.3.1 Cálculos para determinar volumen, masa y densidad del material orgánico utilizado (estiércol bovino).

Cálculo del volumen y la masa total, así como la densidad del material orgánico utilizado, en base a la propuesta de diseño del biodigestor y sus componente. Mostrados en el plano 1, para el buen funcionamiento del mismo.

$A_D = A_1 + A_2 + A_3 \Rightarrow$  determinación de volumen  
del ducto en la zona de carga

$$A_1 = a_1 \cdot b_1 \cdot c_1$$

$$A_2 = a_2 \cdot b_2 \cdot c_2$$

$$A_3 = \pi \cdot (R_2)^2 / 4 \cdot C_1$$

$A_i = A_4 + A_5 + A_6 + h_1 \Rightarrow$  determinación del volúmenes  
del nivel de los anillos y de  
la compuerta de salida.

$$A_4 = \pi \cdot (d)^2 / 4 \cdot a_3$$

$$A_5 = \pi \cdot R_1 \cdot b_3$$

$$A_6 = a_4 \cdot b_4 \cdot c_3$$

$V_c = \pi \cdot R_1^2 / 4 \cdot h_1 \Rightarrow$  Volumen al nivel del material  
en el contenedor.

$V_T = A_D + A_i + V_c \Rightarrow$  Volumen total de las área  
del biodigestor.

$$A_1 = 23.5 \cdot 22.5 \cdot 14.0 = 7.40 \text{ dm}^3$$

$$A_2 = 34.5 \cdot 21.5 \cdot 13.5 = 10.01 \text{ dm}^3$$

$$A_3 = \pi \cdot (22.5)^2 / 4 \cdot 14 = 5.56 \text{ dm}^3$$

$$A_4 = \pi \cdot (3.7)^2 / 4 \cdot 40 = 0.43 \text{ dm}^3$$

$$A5 = (\pi \cdot 57 \cdot 2.5) (2) = 0.89 \text{ dm}^3$$

$$A6 = 1.25 \cdot 21.4 \cdot 16.0 = 0.42 \text{ dm}^3$$

$$V_c = \pi \cdot 57^2 / 4 \cdot 58 = 148 \text{ dm}^3$$

$$V_T = 22.98 + 1.75 + 148.00 = 172.73 \text{ dm}^3 \\ = 0.17273 \text{ m}^3$$

Como ya se menciona es muy importante considerar la densidad de el material que se tiene que usar para que el sistema trabaje en forma adecuada y sin posibles complicaciones.

Determinación del peso especifico y de la densidad del estiércol bovino.

$$w = 0.5 \text{ kg} (9.81 \text{ N/kg}) = 4.905 \text{ N} \dots\dots\dots 1$$

$$\Delta v = V_2 - V_1 \dots\dots\dots 2$$

- Peso especifico

$$\rho = w / \text{vol} = \text{Newton} / \text{m}^3 \dots\dots\dots 3$$

- Densidad.

$$\rho = \delta \cdot g \Rightarrow \delta = \rho / g = \text{masa/volumen} = \text{N/m}^3 \cdot \text{m/s}^2 = \text{N} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^3 \dots\dots 4$$

$$\text{Vol}_1 = 600 \text{ ml de agua} = 0.6 \text{ lts.} = 0.0006 \text{ m}^3$$

$$\text{Con } 500 \text{ gr. de estiércol} = 0.5 \text{ kg}$$

$$\text{Vol}_2 = 1.025 \text{ ml} + 1000 = 0.001025 \text{ m}^3$$

$$\Delta v = 0.001025 \text{ m}^3 - 0.0006 \text{ m}^3 = 0.000425 \text{ m}^3$$

Peso específico.

$$\rho = 4.905 \text{ N} + 0.000425 \text{ m}^3 = 11541.17 \text{ N/m}^3$$

Densidad del estiércol bovino.

$$\begin{aligned} \delta &= 11541.17 \text{ N/m}^3 + 9.81 \text{ N/kg} \\ &= 1176.47 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1.17647 \text{ kg/dm}^3 \end{aligned}$$

Masa requerida de material para el funcionamiento del biodigestor

1⇒ Agua.

2⇒ Estiércol.

T⇒ Mezcla total.

$$m_1 + m_2 = m_T$$

$$m_1 = 1.5 \text{ kg}$$

$$m_2 = 1.0 \text{ kg}$$

$$m_T = 2.5 \text{ kg}$$

$V_1$  = Volumen del agua.

$V_2$  = Volumen del estiércol

Densidad del agua.

$$\delta_1 = m_1/v_1 \Rightarrow V_1 = m_1/\delta_1 \quad 5$$

$$V_1 = 1.5 \text{ kg} + 0.99 \text{ kg/lit} = 1.5151 \text{ lts}$$

$$= 1.5151 \text{ dm}^3$$

Densidad del estiércol.

$$\delta_2 = m_2/v_2 \Rightarrow V_2 = m_2/\delta_2 \quad 6$$

$$V_2 = 1.0 \text{ kg} + 1.17647 \text{ kg/dm}^3 = 0.8500 \text{ dm}^3$$

Densidad total.

$$\delta_T = m_T/v_1 + v_2 \quad 7$$

$$\delta_T = 2.5 \text{ kg} + 1.5151 \text{ dm}^3 + 0.8500 \text{ dm}^3 = 1.05703 \text{ kg/dm}^3$$

$M_T \Rightarrow$  Masa total.

$\delta_T \Rightarrow$  Densidad total.

$V_T \Rightarrow$  Volumen total.

$$M_T = \delta_T \cdot V_T$$

Masa total en el biodigestor.

$$M_T = (1.05703 \text{ kg/dm}^3) (172.7371 \text{ dm}^3) = 182.58 \text{ kg.}$$

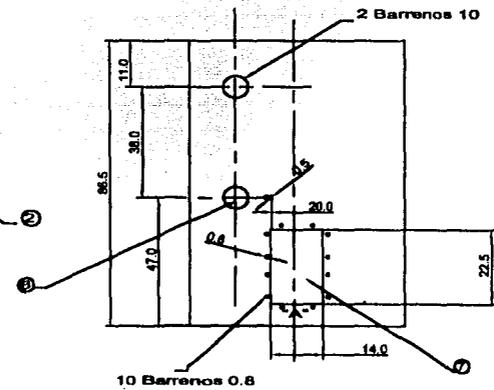
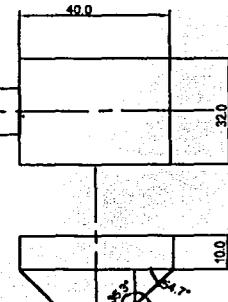
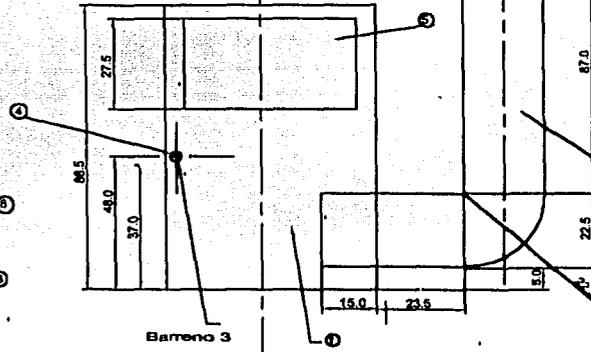
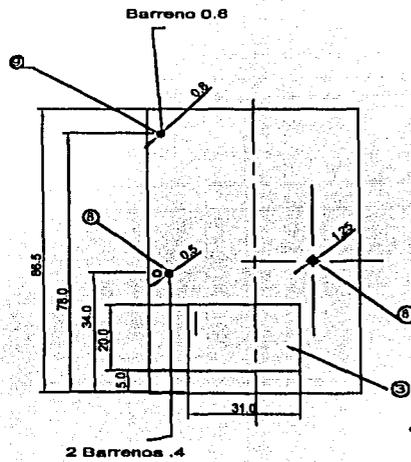
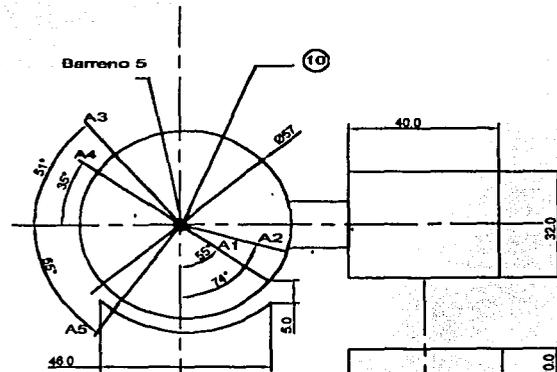
Cantidad de agua y estiércol para cubrir la "Masa total" en el biodigestor.

$$m_1 + m_2 = M_T$$

$$1.5 + 1.0/2.5 = 2.5/2.5$$

$$1.5/2.5 + 1.0/2.5 = 1.0$$

$$0.6 + 0.4 = 1$$



Descripción		Proyecto: Biodigestor anaeróbico.
1 Reactor	Angulo para localizar barrenos	Especificación: Componentes generales
2 Ducto para carga	A1 Barrenos del nivel	Realizo: Jorge Gómez Romero.
3 Ranura para descarga	A2 Barreno de la resistencia 1	Plano No 2
4 Barreno para termómetro	A3 Barreno del manómetro	Acotación: cm
5 Placa para aparatos	A4 Barreno de la resistencia 2	Fecha: Abril-2002
6 Barreno para nivel	A5 Barreno del termómetro	Reviso: Ing. Filiberto Leyva Peña, Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez.
7 Ranura para ducto		
8 Ranura para resistencias		
9 Ranura para manómetro		
10 Ranura para agitador		

$$m_1 = 60 \%$$

$$m_2 = 40 \%$$

$\therefore$

$$m_1 = 0.6 (182.58 \text{ kg}) = 109.548 \text{ kg de agua.}$$

$$M_2 = 0.4 (182.58 \text{ kg}) = 73.032 \text{ kg de estiércol.}$$

La capacidad a la que trabaja el reactor es:

Considerando el 100% del volumen del contenedor.

$$V_c' = 220.72 \text{ dm}^3$$

$$VT = A_D + A_t + V_c'$$

$$VT = 22.98 + 1.753 + 220.7 = 245.453 \text{ dm}^3$$

$$245.45 \text{ dm}^3 \quad 100\%$$

$$182.58 \text{ dm}^3 \quad 74.38\%$$

Estos cálculos nos conducen a diseñar un biodigestor de las siguientes características. (Plano 2)

#### 4.4 Materiales

Para realizar dicho proyecto se requirió de una serie de materiales, los cuales se enlistan a continuación. Cuadro 2.

**Cuadro 2. Descripción, número de piezas y precio de materiales requeridos para la construcción del biodigestor.**

Cantidad	Descripción	Precio unitario/ \$	Precio total/ \$
2pzs	Contenedores de 200 Lts	180.00	360.00
1pza	Contenedor de 100 Lts.	85.00	85.00
1pza	Contenedor de 20 Lts.	20.00	20.00
5mts.	Manguera para gas 3/8	7.00	35.00
2mts.	Tubo flexible para gas 3/8	17.00	34.00
1pza	Llave de paso para gas 3/8	25.00	25.00
9pzs	Tuercas de cono de latón para gas 3/8	4.00	36.00
1pza	Codo de latón para gas 3/8	7.00	7.00
2pzs	Balero de 1" Ø	9.50	19.00
1pza	Tubo galvanizado de 1 ½"Ø por 70cm.de largo.	60.00	60.00
1pza	Tubo galvanizado de ½"Ø por 50cm de largo.	38.00	38.00
1pza	Tubo galvanizado de 3/8"Ø por 70cm de largo.	25.00	25.00
25cm	Tornillo sin fin de ½" Ø	8.00	8.00
25pzs	Tornillos de ¼"Ø	0.60	15.00
1pza	Aspa para ventilador de carro	85.00	85.00
2pzs	Codo galvanizado de ½"Ø	7.00	14.00
1pza	Llave de presión para gas	85.00	85.00
10pzs	Abrazaderas de 3/8"	1.50	15.00
1pza	Arillo de presión	25.00	25.00
8mts	Manguera para nivel	2.50	5.00
2pzs	Conector de PVC de 2"Ø	12.00	24.00
2pzs	Codo de PVC de 1"Ø	4.50	9.00
1pza	Manguera transparente de 1"Ø por 50cm de largo.	25.00	25.00
1pza	Llave de globo de alta presión de PVC	65.00	65.00
1pza	T de PVC de 1"Ø	6.50	6.50

1pza	Filtro de gasolina para caribe	110.00	110.00
1pza	Medidor de gas	370.00	370.00
4pzs	Solera de 1.50mts por 5cm	30.00	120.00
2pzs	Lamina galvanizada de 1.00mt por 1.50mts.	70.00	140.00
2mts	Solera tubular cuadrado	35.00	70.00
2pzs	Resistencia eléctrica de 600 w	8.50	15.00
2pzs	Cable para resistencia	8.50	15.00
1pza	Termómetro de reloj de 200 °C	245.00	245.00
2pzs	Bisagras redondas de ½"	2.50	5.00
1pza	Tornillo de 5" de largo por 3/8" de Ø	12.00	12.00
2pzs	Rosca conector de PVC de 2 "de Ø	38.00	76.00
2pzs	Tubos de silicón	35.00	70.00
2lts	Sellador impermeabilizante	65.00	130.00
2lts	Pintura	25.00	50.00
1lt	Thiner	6.00	6.00
Suma total en pesos de los materiales		\$ 2500.00	

#### 4.5 Costos de producción.

Partiendo del costo de materiales, precios del año 2001 se establece que el precio de producción para construir un biodigestor para procesar materiales orgánicos es el siguiente. Cuadro 3.

Estos costos se establecen partiendo de que los materiales adquiridos sean 100% nuevos, sin embargo se puede disminuir este costo, siempre y cuando se utilicen materiales reciclables como fue el caso de esta construcción.

**Cuadro 3: Costo estimado de producción de un biodigestor.**

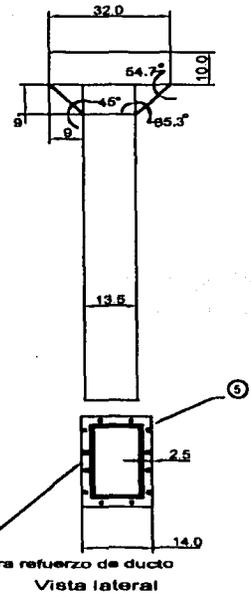
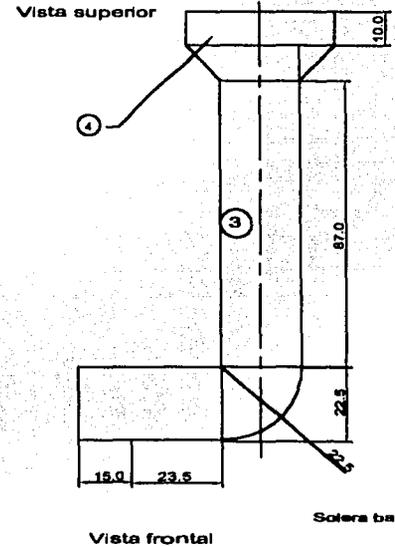
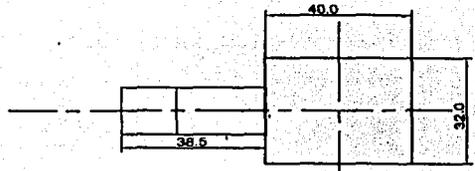
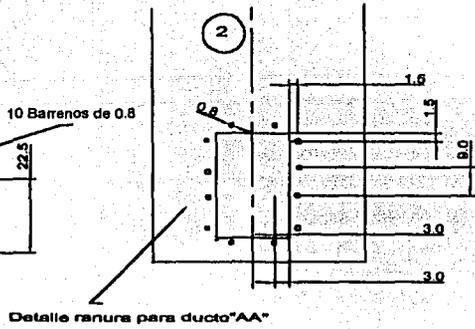
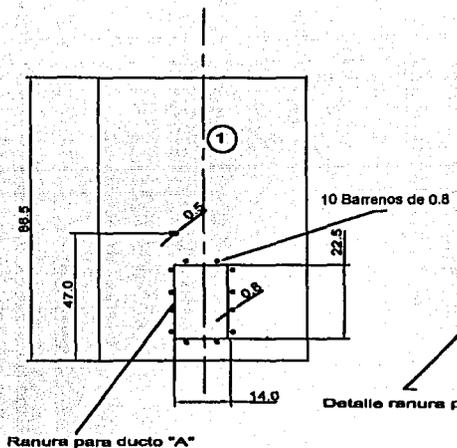
Concepto	Unidad	Cantidad/ semana	Costo unitario	Costo total/semana	Costo total
Materiales	Piezas	*****	*****		\$ 2422.5
Mano de obra no calificada	Jornales	6	\$ 80.00	\$ 480.00	\$ 480.00
Mano de obra calificada.	Jornales	2	\$ 150.00	\$ 300.00	\$ 300.00
Mano de obra especializada.	Jornales	6	\$250.00	\$ 1500.00	\$ 500.00
Suma total				\$ 2280.00	\$ 4702.5

#### 4.6 Componentes del biodigestor

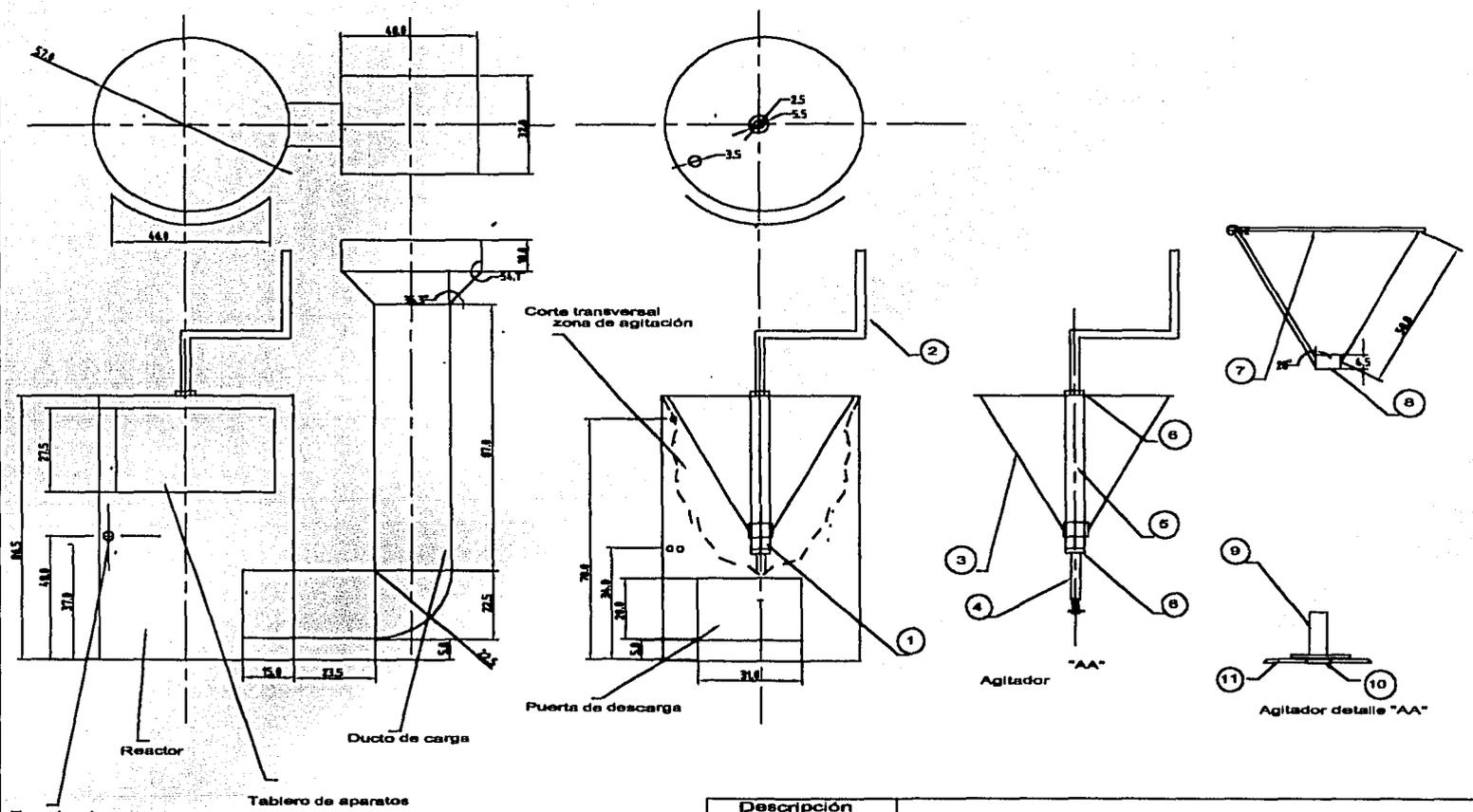
Se construye el biodigestor con respecto a cada una de sus áreas, es decir (área de carga, área de descarga, Niveles, aparatos de medición, área de agitación, área de calefacción, área de almacenamiento de gas.)

##### 4.6.1 Área de carga.

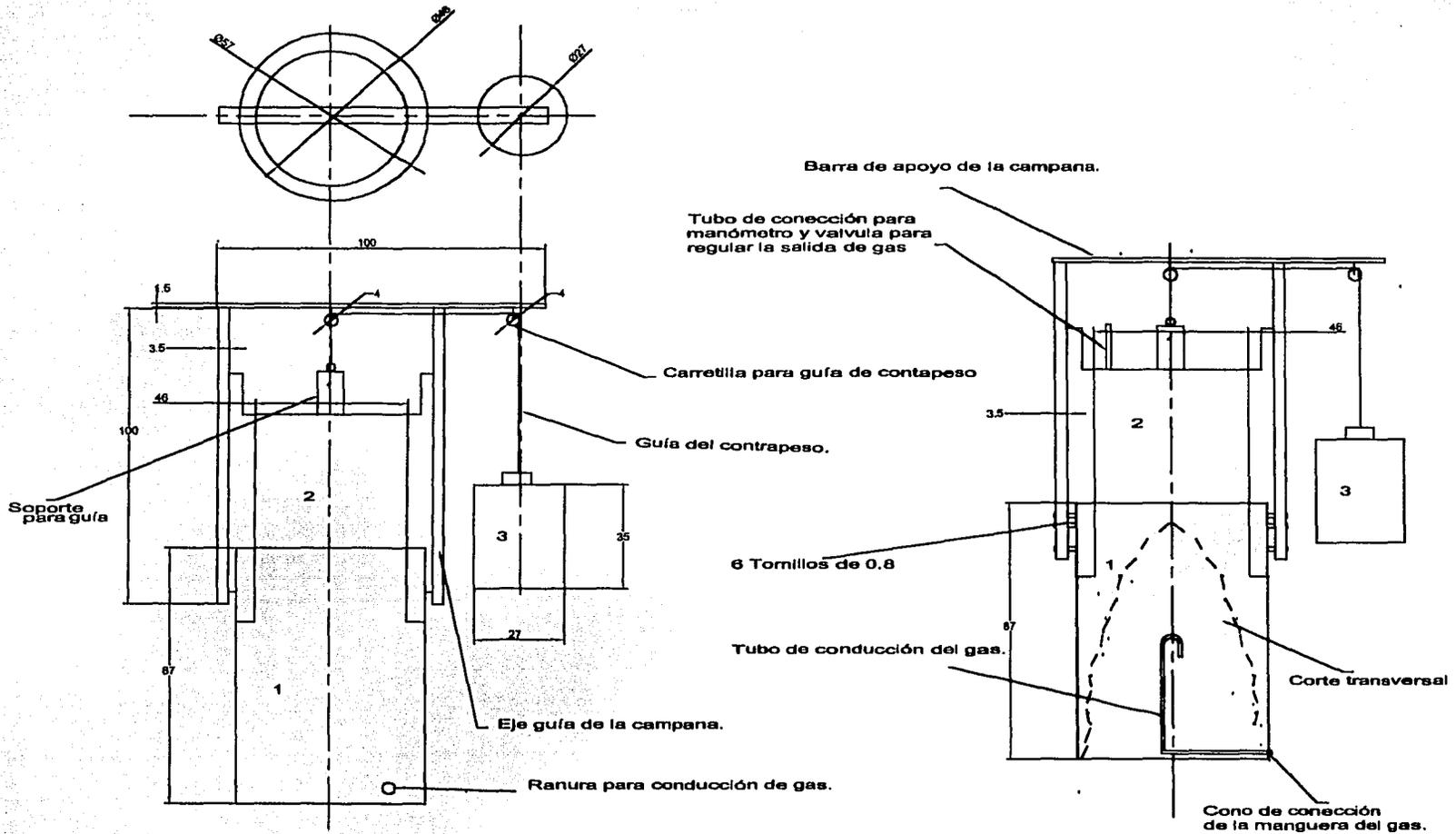
Inicia con una perforación en la base del contenedor una para instalar un ducto de lámina galvanizada, este ducto esta compuesto por tres partes una en forma curva que conecta directamente al contenedor, sujetado a una solera con barrenos y una junta de neopreno para evitar fugas en el reactor; otra larga en forma paralela al contenedor para la fácil conducción del material y la tercera parte diseñada en forma de tolva con su respectiva tapa, para evitar posibles malos olores. Todo este componente tendrá la función de alimentador en el reactor del efluente que se tenga que usar. Figuras 8 y 9 y Plano No 3



Descripción	Proyecto. Biodigestor anaeróbico.		
	Especificación. Zona de carga		
	Realizo. Jorge Gómez Romero.		
1 Reactor	Piño No 3	Acotación: cm.	Fecha. Abril - 2002
2 Detalle de ranura	Reviso. Ing. Filiberto Leyva Peña		
3 Ducto para alimentación	Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez.		
4 Toiva para alimentación			
5 Solera de refuerzo para ranura			



Descripción		Proyecto. Biodigestor anaeróbico	
1 Agitador	2 Manivela	Especificación. Componentes para la agitación	
3 Soleta	4 Eje	Realizo. Jorge Gómez Romero	
5 Tubo	6 Balero	Plano No. 4	Acotación: cm
7 Anillo	8 Bujes	Fecha. Abril - 2002	
9 Tornillo	10 Base de la aspa	Reviso. Ing. Filiberto Leyva Peña.	
11 Aspa		Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez	



Descripción	Proyecto: Biodigestor anaeróbico.	
1. Deposito para burbujeo del gas.	Especificación. Gasometro.	
2. Campana para almacenamiento del gas.	Realizo. Jorge Gómez Romero.	
3. Contra peso para la campana.	Plano No 5	Acotación: cm Fecha. Abril - 2002
Revisó. Ing. Filiberto Leyva Peña. Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez.		



Figura 8. Tolda, ducto y juntas para la zona de carga.

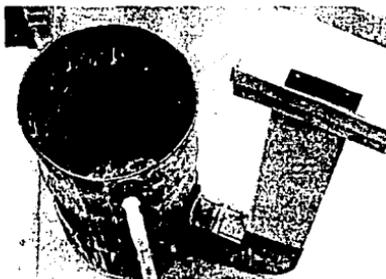


Figura 9. Tolda, ducto y nivel, ensamblados en el contenedor

#### 4.6.2 Nivel del efluente

Para poder tener un control sobre la capacidad de carga se realizan otras dos perforaciones menores con el propósito de que sirva para instalar dos sellos de PVC, dos codos, dos niples, una "T", una llave hidráulica y una manguera plástica transparente sujeta a cada extremo con dos abrazaderas esto nos servirá como nivel del efluente en el contenedor. Figuras 10 y 11 y Plano No 1 elemento 5.

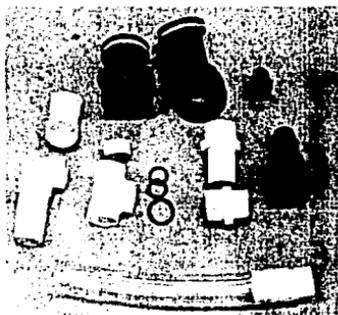


Figura 10. Accesorios para el nivel del efluente



Figura 11. Nivel del efluente ensamblado

#### 4.6.3. Área de agitación

Para poder realizar esta se hace una perforación en la tapa del contenedor por el cual se soldara un tubo, al cual previamente se le insertaron dos baleros, uno a cada extremo, a su vez a este tubo se inserta una flecha por entre los baleros, en la cual por un extremo lleva una manivela, esta se hizo con tres tramos de tubo; por el otro extremo se solda un tornillo sinfin donde es insertada una aspa. Esta aspa puede ser de cualquier tipo en el caso de este biodigestor es la de un motor de carro. Para evitar que el agitador se pueda en un momento determinado desoldar de la tapa del contenedor y evitar movimientos bruscos a la hora de agitar, se le soldaron cuatro soleras en forma perpendicular de la tapa del contenedor a la parte media del eje del tubo. Figuras 12 y 15 y Plano No 4.

La agitación es importante y debe realizarse en el biodigestor por lo menos quince minutos diarios en forma continua, para homogenizar el material y evitar la formación de natas en la parte superior del reactor.

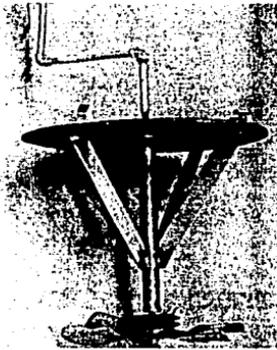


Figura 12. Agitador del material.

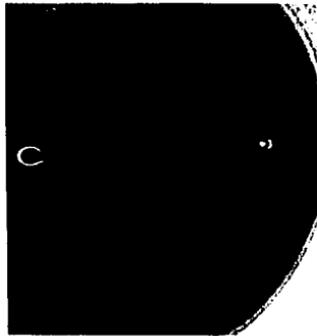


Figura 13. Dispositivos para suministro de temperatura y conexión del manómetro.

#### 4.6.4 Área para dispositivos de la temperatura

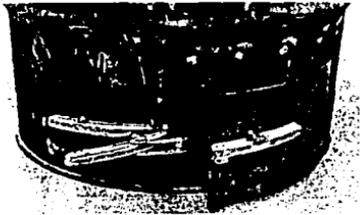
Para mantener a una temperatura adecuada el sistema, se hicieron dos pares de perforaciones pequeñas en el contenedor para así instalar dos resistencias eléctricas, que elevan la temperatura del reactor. Se realizó otra perforación un poco más grande para instalar un termómetro metálico de tipo industrial de 200°C para poder registrar la temperatura del reactor durante el proceso. Figura 13 y Plano No 2 elemento 4.

#### 4.6.5. Área para dispositivos de la presión

Se realizó una perforación pequeña para insertar un tubo pequeño de cobre enroscado, el cual tendría que estar muy bien sellado por ubicarse en el área del gas, para lograr esto se colocaron dos juntas de hule unidas con pegamento para hule, en este tubo se insertó la manguera del manómetro diferencial en "U", dicho aparato se realizó con tres metros de manguera de nivel, una placa metálica y un tramo de flexómetro, soldado a una varilla con ganchos para poderse sujetar. Figura 13 y Plano No 2 elemento 9.

#### 4.6.6 Área de descarga.

Se realizó otra perforación que servirá para que se inserte una compuerta, esta compuerta se hizo con una lámina acerada y doblada conforme a la forma del contenedor, es decir ligeramente curva, en uno de los extremos de esta y en el contenedor se soldaron dos bisagras, a su otro extremo se soldó una jaladera que sirve como cierre, también se le colocó una junta de neopreno la cual favorece el cierre a gran presión de la compuerta y puedan evitarse fugas del efluente, ya terminado el proceso de degradación del efluente esta compuerta se podrá abrir con toda facilidad para la salida del producto final. Figuras 14 y 15 y Plano No 2 elemento 3.



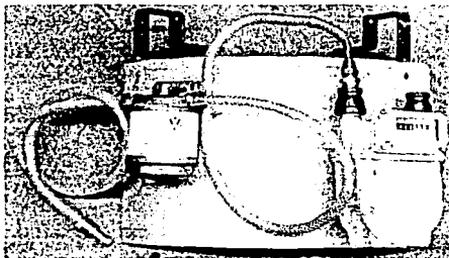
*Figura 14 Compuerta de la zona de descarga*



*Figura 15 Elementos de zona de carga, de descarga, agitador y nivel*

#### 4.6.7 Dispositivos para la conducción del gas.

En el orificio más pequeño de la tapa del contenedor se instaló una llave de alta presión para la salida del gas, a esta llave se le conecta una manguera de plástico para gas, que da a un filtro; el uso inicial de este aparato es como limpiador de impurezas en la gasolina de un carro, pero en este caso se acondicionó para que funcionara como limpiador de impurezas en el gas de este reactor. Se le adicionó limadura de hierro para limpiar el gas de impurezas, como es el ácido sulfhídrico. Este filtro se conecta a otra manguera de plástico para gas, la cual es conectada a un medidor de gas para que se contabilice la cantidad de gas producido mientras transcurre el proceso de degradación en el material orgánico suministrado. Otra manguera se conecta al orificio de salida del gas el cual se conduce por un sistema de tubos de cobre al gasómetro. Estos dos aparatos se instalaron en un tablero, soportado por un par de ejes soldados en la tapa del contenedor, este tablero es desmontable ya que se fija por dos pares de tornillos al soporte y al tablero que están barrenados. Esto también sucede con muchas piezas del reactor. Figura 16 y Plano No 1.

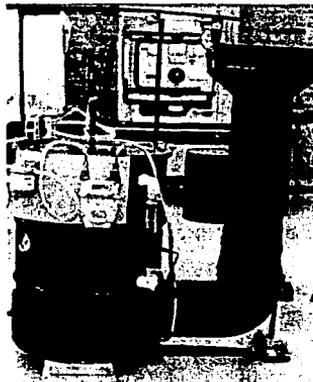


*Figura 16 Tablero, Mangueras de conducción, filtro de limpieza y medidor del gas.*

Ya concluidos los procedimientos anteriores, se finaliza con la primera parte de la construcción, a la cual corresponde el reactor. Figuras 17 y 18.



*Figura 17 Reactor concluido*



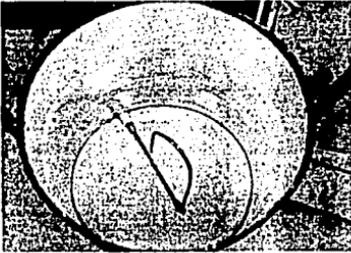
*Figura 18. Reactor instrumentado y en funcionamiento.*

#### 4.6.8 Gasómetro.

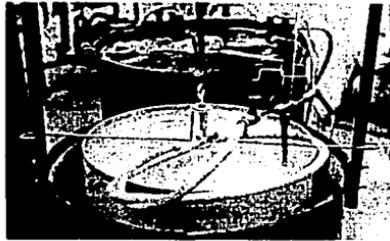
Este aparato sirve para almacenar el gas que se ha generado en el reactor se construyó, con tres contenedores de diferentes capacidades.

Inicialmente se hace un barreno a un extremo de la parte inferior del contenedor de 200 litros, en donde es conectada la manguera por donde se conduce el gas del reactor, esta conexión se hizo con una campana enroscada hembra y macho de latón, en el interior del contenedor se conecto un sistema de tubos de cobre en forma de "L" y "U" invertida para que el gas que es conducido desde el reactor se limpie del vapor de agua que contiene y alguna otra impureza mediante el burbujeo en una trampa de agua También se hacen dos pares de barrenos para sostener los ejes o guías de la campana, que se prolongan en forma horizontal, partiendo de la parte superior del contenedor grande y así poder soportar otro eje en forma horizontal.

La campana del gasómetro lo constituye otro contenedor de 100 litros el cual por su parte abierta se invierte sobre el contenedor más grande, así en su parte superior se realiza un barreno para soldarle un tubo de cobre el cual mediante un avellanado se conectara a otro tubo con una "T" y dos extremos de tubo para uno de ellos una llave de paso y al otro la conexión de un manómetro diferencial en "U"; al centro de este mismo contenedor se solda una base con gancho para extender una guía de alambre acerado que se prolonga por el eje horizontal mediante dos carretillas, una en la parte media y la otra en un extremo este servirá para prolongar la guía de alambre acerado a un tercer contenedor que sirve como contrapeso. Figuras 19 y 20 y Plano No 5.



*Figura 19. Tubo de conducción del gas en el burbujeador.*



*Figura 20. Campana del gasómetro guías de la campana, tubo de salida del gas y del manómetro.*

## 5. OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR Y PRODUCCIÓN DE BIOGAS

---

La operación da inicio con una carga discontinua del material orgánico (estiércol bovino). Para ello es necesario determinar el volumen del biodigestor, considerando trabajar a 75% de su máxima capacidad, con el propósito de que se tenga un espacio libre, para que el biogas pueda pasar al gasómetro y puedan facilitarse otras operaciones.

También es necesario determinar la densidad del producto utilizado, ya que en función de esta se determina la cantidad de kilogramos de masa total que requiere el biodigestor para su buen funcionamiento ya anteriormente mencionado, Plano 1 Figuras 21 y 22.



*Figura 21. Peso de los materiales para el inicio de la operación*

La carga es discontinua, ya que su principio, así fue establecido para tener un buen control sobre el efluente, es decir este proceso facilita un mejor desempeño de las bacterias metanogénicas y un mejor control sobre parámetros como temperatura, agitación, pH entre otros.



*Figura 22. Carga del material para inicio de la operación.*

Este tipo de carga se recomienda para sistemas pequeños, como es el caso de este biodigestor, como ya se ha mencionado. Sin embargo, la experiencia con este trabajo de investigación, demuestra que es posible en sistemas más grandes.

La agitación, se realizó inicialmente con una duración de 60 minutos, al momento de introducir la carga de material en el biodigestor, con el propósito de homogenizarlo lo mejor posible, ya posteriormente 15 minutos diarios.

Para el suministro de temperatura, sólo se conectaron las resistencias cuando la temperatura se encontraba por abajo de los 10°C.

La presión en el biodigestor en general no era muy alta, sin embargo para registrarlas diario, se cerraba la válvula de conducción del gas de un día a otro. Ya realizadas todas estas prácticas de operación, el gas que se generaba en el reactor, como ya se menciona, se conducía al gasómetro pasando inicialmente por el filtro de limadura de fierro y por el medidor de lectura, para así dirigirse al burbujeador y almacenarse, ya acumulado el gas en la campana, se conecta la manguera de salida de gas a un mechero bunsen, para quemar el combustible Figuras 23 y 24.

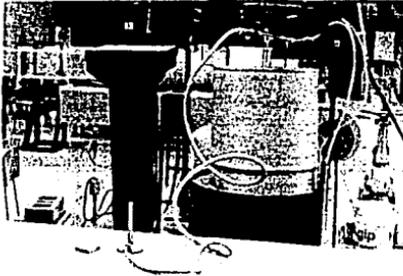


Figura 23. Conexión de mechero de la manguera de salida de gas.

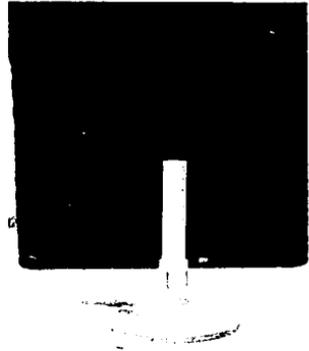


Figura 24. Prueba de quema de gas en el mechero.

### 5.1 Producción de biogas

Con el desarrollo de esta investigación, se establece que el diseño y la construcción del biodigestor han sido exitosos, y el resultado de estos dos permitió una buena operación del mismo. Demostrado con la precisa construcción, así como una operación adecuada de cada uno de sus componentes, es preciso considerar que en el caso de la construcción de este biodigestor se presentaron algunas fallas técnicas, que sin embargo no han sido limitantes para el buen funcionamiento.

La exitosa producción de biogas, constata lo anterior y a la vez los resultados obtenidos son muy prometedores para continuar desarrollando este tipo de tecnología, dichos resultados son; en promedio 10 litros de gas diarios que totalizan más de  $2.5 \text{ m}^3$  de biogas, durante el tiempo de operación, que represento un tiempo en duración de flama en un mechero bunsen de más de 25 horas.( Cuadro 4 )

Cuadro 4. Cantidad de biogas Producido en litros, durante el tiempo de proceso metanogénico en el biodigestor construido.

Fecha	Temp °C	Presión N/m <sup>2</sup>	Cant. de gas Lts.	pH	combustión	tiempo de flama /min.	Núm de días	Cant. de gas lts/día
5/ Oct / 01	21 °C	-----	-----	8.58	-----	-----	1	X
8/ Oct / 01	14 °C	6141.06	18.3				3	6.1
9/ Oct / 01	14 °C	4581.27	16.5				1	16.5
10/ Oct/01	12 °C	4365.45	11.0		*		1	11.0
11/Oct /01	16 °C	7180.92	36.4	8.55	*		1	36.4
12/Oct /01	14 °C	4689.18	15.9		**	19	1	15.9
15/Oct /01	10 °C	-----	-----	8.32			3	Fuga
16/Oct /01	14 °C	5277.78	23.4		**		1	23.4
17/Oct /01	14 °C	5925.24	25.1		**		1	25.1
18/Oct /01	10 °C	4071.15	14.4	8.00	**		1	14.4
19/Oct /01	14 °C	6003.72	23.3		**		1	23.3
22/Oct /01	16 °C		37.0		**	50	3	12.3
24/ Oct /01	14 °C		34.0	7.74	**		2	17.0
25/ Oct /01	18 °C	5483.79	31.2		**	45	1	31.2
26/ Oct /01	10 °C		27.8		**	60	1	27.8
29/ Oct /01	16 °C		49.2		**	20	3	16.4
31/ Oct /01	14 °C		38.5	7.72	**	75	2	14.25
5/ Nov /01	8 °C		64.1		**		5	12.82
7/ Nov /01	12 °C	2491.74	41.4		**	70	2	20.7
8/ Nov /01	10 °C	4532.22	16.2	7.61	**		1	16.2
9/ Nov /01	12 °C	3933.81	17.2		**		1	17.2
12/ Nov /01	12 °C		44.8		**		3	14.9
13/ Nov /01	10 °C		17.0		**	80	1	17.0
14/ Nov /01	12 °C	3345.21	26.0	7.58	**		1	26.0
15/ Nov /01	12 °C		21.0		**		1	21.0
19/ Nov /01	12 °C		61.6		**	70	4	15.4
21/ Nov /01	14 °C		29.4	7.54	**		2	14.7
23/ Nov /01	8 °C		38.6		**		2	19.3

## Operación del biodigestor y producción de gas

27/ Nov /01	12 °C		54.6		**	40	4	13.6
28/ Nov /01	10 °C		14.4		**	15	1	14.4
29/ Nov /01	12 °C	3511.98	17.4	7.54	**	45	1	17.4
30/ Nov /01	14 °C		23.0		**		1	23.0
3/ Dic /01	10 °C		43.9		**	55	3	14.6
5/ Dic /01	8 °C	1422.45	35.1		**		2	17.5
7/ Dic /01	10 °C		35.0	7.54	**	55	2	17.5
13/ Dic /01	10 °C		59.5		**	85	-6	9.9
14/ Dic /01	10 °C		14.5		**		1	14.4
7/Ene /02	8 °C		183.0	7.55	**	85	24	7.6
9/Ene /02	8 °C	2687.94	24.4		**		2	12.2
10/Ene /02	15 °C		13.6		**		1	13.6
11/Ene /02	14 °C		13.0		**	75	1	13.0
14/Ene /02	14 °C		17.4	7.54	**		3	5.8
16/Ene /02	10 °C	3158.82	10.6		**		2	5.3
17/Ene /02	12 °C		10.4		**	55	1	10.4
18/Ene /02	12 °C		10.0		**	15	1	10.0
21/Ene /02	15 °C		20.0		**		3	6.6
22/Ene /02	10 °C		9.2	7.54	**	35	1	9.2
25/Ene /02	15 °C		30.4		**	80	3	10.1
1/Feb /02	15 °C		52.4	7.00	**	40	7	8.9
4/Feb /02	14 °C		40.2		**		3	13.4
8/Feb /02	13 °C		41.8		**	45	4	10.4
12/Feb /02	15 °C		49.4		**		4	12.3
18/Feb /02	15 °C		56.4		**		6	9.4
22/Feb /02	16 °C		41.8		**	40	4	10.4
28/Feb /02	16 °C	3832.21	56.2	7.0	**	60	8	7.0
4/Mrz /02	18 °C		48.0		**		4	12.0
7/Mrz /02	18 °C		41.2		**	25	3	10.4
12/Mrz /02	20 °C		60.4		**		5	12.0
20/Mrz /02	21 °C		80.1		**	40	8	10.0
1/Abr /02	20 °C		178.1		No hay		12	14.5
11/Abr /02	20 °C		90.0		**	30	10	9.0
23/Abr/02	20°C		88.3		**		12	7.3

3/May/02	20° C	69.4	**	30	9	7.7
13/May/02	20° C	59.4	**	30	10	5.9
23/May/02	20° C	65.2	**		10	4.2
6/Jun/02	20° C	60.0	**	45	14	6.5
13/jun/02	21° C	30.4	**		7	4.3
Total	14° C	2529.3		1514	253	813.87

### 5.1.1. Cálculos de producción de biogas

La producción de biogas obtenida con 73 Kg. de material orgánico fue de 2,500 dm<sup>3</sup> a una presión promedio de 4377.98 N/m<sup>2</sup> y una temperatura promedio de 14°C en un lapso de tiempo de aproximadamente 8 meses. Por lo que para determinar los Kgs. de gas por Kg de material utilizado se utiliza la ley general de los gases:

$$Pv = RT$$

$$1/v = \rho = P/RT$$

Donde:

v = Volumen específico del gas. m<sup>3</sup>/Kg

$\rho$  = Densidad del gas. Kg/m<sup>3</sup>

R = Constante particular del gas.

T = Temperatura absoluta del gas. (°K)

$\rho$  = Masa/Volumen ; Masa =  $\rho$  (Volumen)

- Presión absoluta.

$$P = p + Pbar.$$

Donde:

p = Presión relativa.

Pbar. = Presión barométrica.

$$p = 4377.98 \text{ N/m}^2$$

- Presión barométrica

P = (metro de mercurio) ( peso específico del mercurio ) =

$$P = (0.585 \text{ m Hg})(13600 \text{ Kg} / \text{m}^3 ) = 7,956 \text{ Kg} / \text{m}^2 \cdot (9.81 \text{N} / 1 \text{ Kg} ) =$$

$$78,048,36 \text{ N/m}^2$$

- Presión absoluta del biogas en el biodigestor.

$$P = p + Pbar = 4,377,98 \text{ N/m}^2 + 78,048,36 \text{ N/m}^2 = 82,426,34 \text{ N/m}^2$$

- Temperatura absoluta en el biodigestor.

$$T = t + 273.15 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T = 14 + 273.15 = 287.15 \text{ } ^\circ\text{K}$$

- Cálculo de la densidad del gas ( $\rho$ )

$$\rho = P / RT = 84,189,42 \text{ N/m}^2 / (518,85 \text{ N}\cdot\text{m/Kg} \cdot ^\circ\text{K} ) (291,15 \text{ } ^\circ\text{K} ) =$$
$$0.5532 \text{ Kg/m}^3$$

- Cálculo de la masa de gas producida.

$$\rho = \text{masa} / \text{volumen} \Rightarrow m = \rho v = (0.5532 \text{ Kg/m}^3) (2.5 \text{ m}^3) =$$

$$m = 1.43832 \text{ Kg.}$$

Calor que se puede producir en base a la cantidad de gas generado y de acuerdo al poder calorífico del combustible.

$$q = m Pcc$$

Donde:

q = calor

m = masa del gas

Pcc = Poder calorífico del metano

- Calor producido al finalizar el proceso de producción de biogas.

$$q = (1.43832 \text{ Kg}) (13,284 \text{ K cal / Kg})$$

$$q = 19,106,6 \text{ Kcal} = 12,106,642 \text{ cal.}$$

### 5.1.2 Gráfico de producción de biogas

En la figura 25, se aprecia que desde la primera semana de operación del biodigestor, se generó gas, sin embargo, el producido los cuatro primeros días no presentaba combustión, lográndose esta al quinto día aunque un poco inestable, es decir la flama se apagaba con facilidad por lo enrarecido del gas, para la segunda semana se tiene una fuga durante tres días la cual no se registro en el aparato de medición. Posterior a este suceso la producción de gas continuo en forma normal a lo largo del proceso de degradación del material.

A la vez nos presenta los rangos de producción de gas con respecto a la temperatura y el pH en el material orgánico utilizado. La producción de gas

respecto a la temperatura, presenta cierta variación, ya que entre mayor sea la temperatura mayor es la producción, sin embargo, en las últimas semanas de registro la temperatura es mayor y no se ve reflejado un aumento en la producción de gas, lo cual se atribuye al desgaste del material. Respecto al pH, la producción de gas se mantiene constante, aunque este factor tiende a disminuir conforme se metaboliza el material.

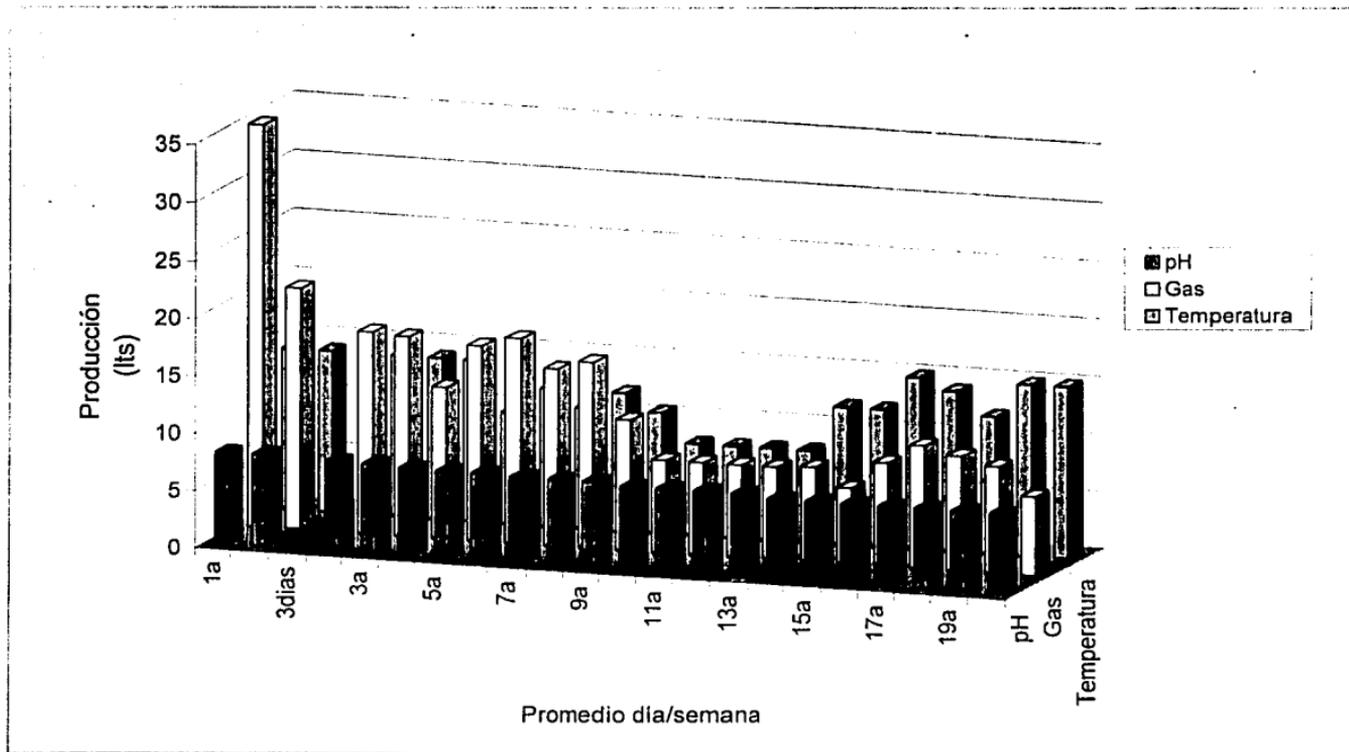


Figura 25. Gráfico de producción de gas

12

## **6. CONCLUSIONES**

---

1. El diseño, construcción y pruebas de este biodigestor permitió tener un mejor panorama de las implicaciones técnicas y metodológicas para llevar a cabo dicho proyecto.
2. La construcción del biodigestor ha permitido tener una mejor visión de la ingeniería en la aplicación de alternativas técnicas para resolver problemas energéticos y ecológicos en zonas urbanas semiurbanas y rurales.
3. La instrumentación del biodigestor permitió tener control sobre parámetro como temperatura, presión y medición de biogas.
4. El uso del filtro de limadura de hierro favoreció la limpieza del biogas de ácido sulfhídrico, evitando el mal olor del biogas.
5. El burbujeo en el gasómetro limpió el exceso de humedad en el biogas, permitiendo su adecuada combustión.
6. La operación de este biodigestor hace ver la importancia que tiene el conocimiento de la biodigestión anaeróbica como procesadora de materia orgánica y generadora de gas metano como energético.
7. La aplicación de este tipo de tecnología resulta muy barata y tiene sin duda un beneficio económico y ecológico a corto plazo en la familia y en la sociedad.
8. La utilización del biodigestor con las dimensiones descritas e instrumentado y con una cantidad de 73kg de estiércol bovino y 109kg de agua, se logró obtener más de 2.5 m<sup>3</sup> de biogas.

9. Durante el inicio de operación del biodigestor el valor de pH del material orgánico fue de 8.5 y al finalizar el proceso metabólico el valor fue de 6.8 resultando un producto sólido-líquido con cualidades ideales para los vegetales.

10. El material orgánico utilizado (estiércol bovino) al ser introducido en el biodigestor aun mantenía su mal olor característico que propicia repulsión su manejo, al momento de sacarlo del biodigestor es libre del mal olor.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. ALBA, Fernando, Introducción a los energéticos pasado presente y futuro, El colegio de México, México, D.F., 1997.
2. BAQUEDAÑO, M. Manuel, Marco A. Young Medina y H. Luis Morales, Los digestores energía y fertilizantes para el desarrollo rural, Instituto nacional sobre recursos bióticos, Xalapa Ver., México, 1983.
3. BAUER, Ephurussi Mariano, Leopoldo García-Colin Scherer, Energía en México el arranque del siglo XXI realidades y opciones, El Colegio de México-UNAM, México D.F., 1989.
4. BIGERIEGO, M., M. Delgado, V. Carbonell, Aplicación de las tecnologías de fermentación anaerobio y otros procesos complementarios en la depuración de efluentes de origen ganadero, Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, Madrid España, 1997.
5. Boletín de Suelos de la FAO, China Propagación y tecnología del biogás a pequeña escala, FAO, Roma, 1981
6. CASTILLO, Anaya G. José, Manejo y utilización de remanentes provenientes de granjas. Como tratamiento de los desechos y fuente de energía, gcastillo@itcr.ca, Cartago, Costa Rica.
7. CONCHEIRO, A. Antonio, Luis Rodríguez Viqueira, Alternativas energéticas, Fondo de Cultura Economica-CONACYT, México, 1985.
8. HERNÁNDEZ, Fernández Claudia, Reducción y reciclaje de residuos sólidos municipales, Programa universitario de medio ambiente, UNAM, 1997.
9. DELEAGE, J.P., C. Souchon, La energía: Tema interdisciplinario para la educación ambiental, Monografía de la secretaria de estado para las políticas del agua y el medio ambiente. UNESCO 1986, Ministerio de obras publicas y transporte, Madrid, 1991.
10. ENKERLIN, Hoeflich Ernesto C. et.al. Ciencia ambiental y desarrollo sostenible, International Thomson Editores, México, 1997.
11. Fundación Friedrich Ebert, Energía medio ambiente y desarrollo sustentable, ENEP-Acatlán, UNAM, México, 1992.

12. GARRY, Mc., Michael G and Jill Stainforth, Compost, fertilizer and biogas production from human and farm waster in the people republic of China, IDRC, Ottawa, 1978.
13. GONZÁLEZ, Loera Jorge y Victor de la Cruz, Agroecología y desarrollo sustentable, Segundo Seminario Internacional de agroecología, 1995.
14. GUEVARA, González Rosa Iris, Bernardo Navarro Benítez, Uso de energía solar en sustitución de gas licuado en áreas urbanas, Programa Universitario de Energía, Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, México, 1999.
15. INEGI/GDF, Anuario estadístico del Distrito Federal, México 1999.
16. INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda 2000
17. MANN, I, Los subproductos animales su preparación y aprovechamiento, FAO, Roma, 1964.
18. MANDUJANO, A. Maria Isabel, Biogas energía y fertilizantes, Organización Latinoamericana de energía, 1981.
19. MANDUJANO, A. M. Isabel, et.al, Biomasa, digestores, biogas y fertilizantes, La revista Solar # 7 Primavera-verano, Instituto de Investigaciones Eléctricas, 1984.
20. MARISCAL, Landín Gerardo, Revisión bibliográfica sobre manejo y utilización de las excretas producidas en criaderos porcinos, como fertilizantes y producción en alimentos, Tesis FES-Cuautitlán, UNAM, 1980.
21. MONROY, Oscar. Gustavo Viniestra, Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos, AGT Editor, México 1990.
22. MULLAN, Mc Morgan y Murray, Recursos energéticos, Blume, Barcelona, 1981.
23. MUÑOZ, F., Revisión bibliográfica del proceso de digestión anaeróbica de desechos orgánicos, Tesis de maestría, sección ingeniería sanitaria, División de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería. UNAM, agosto 1981.
24. OBERT, F. Edward, Motores de combustión interna, análisis y aplicaciones CECSA, México 1992.

25. ORTIZ, C. Jaime, Curso de agroenergética: producción de biogás y sus aplicaciones, Universidad politécnica de Madrid, Ministerio de agricultura, 1980.
26. ONU/FAO, EL reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América latina, Informe de la reunión latinoamericana sobre reciclaje de materias orgánicas en la agricultura, San José Costa Rica. Julio de 1980.
27. POLO, Encinas Manuel, Energéticos y desarrollo tecnológico, Limusa, México, 1979.
28. QUINTANILLA, Martínez Juan. Leticia Campos, Energía eléctrica y medio ambiente en México, 1<sup>er</sup> Seminario sobre situación y perspectivas del sector eléctrico en México, UNAM. IIE. PUE. 1997.
29. ROSELLO, Coria Francisco, Luis Francisco Areola Quijada, Energía y máquinas térmicas, Limusa, México, D.F. 1983.
30. SAURA, Carles, Ecología: Una ciencia para la didáctica del medio ambiente, Oikos-Tau, Barcelona, España, 1992.
31. SHEINBAUM, Claudia, Tendencias y perspectivas de la energía residencial en México, Programa Universitario de Energía, UNAM, México. 1996.
32. SEDESOL, Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente, (1991-1992), México, 1993.
33. Semarnap -DDF-SS, Programa para mejorar la calidad del aire en el valle de México, México 1995.
34. Semarnap/INEGI, Estadísticas del medio ambiente, Informe de la situación general de equilibrio ecológico y protección al ambiente, (1995 - 1997), México, 1998.
35. SEMARNAT, Programa nacional de medio ambiente y recursos naturales, 2001-2006, México 2201.
36. SEVERNS, W.H., La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases.
37. STEADMAN, Philip, Energía medio ambiente y edificación, H, Blume, Madrid, 1980.
38. STONER, H. Carol, Como usar las fuentes de energía natural, Editorial Diana, 1978.

39. TAIGANIDES, E. Paul, Biogas recuperación de energía de los excrementos animales, Revista mundial de zootecnia, 1980.
40. TYLER, Miller G., Jr. Ecología y medio ambiente, Editorial Iberoamericana, México 1994.
41. TONDA, Juan, El oro solar y otras fuentes de energía, en *La ciencia desde México*, SEP, FCE, CONACYT, México, 1993.
42. TURK, Amos y Turk Jonathan, Ecología-contaminación-medio ambiente, Nueva edición Interamericana, México D. F., 1973.
43. WIONCZEK, M. S. Energía en México: ensayo sobre el pasado y el presente, El colegio de México, México, 1982.
44. YOUNG, Marco, Digestores anaeróbicos criterios de selección, diseño y construcción, Instituto de investigaciones sobre recursos bióticos, Xalapa Ver., México, 1986.
45. ZORZOLL, G. B., El dilema energético, Blume, Madrid, España, 1978.
46. XXXVI Congreso Mexicano de Química: Div. Química ambiental. Torres Saldaña Arturo et al. Ixtapa Guerrero Méx. Septiembre 2001.