



# **UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO**

## **“FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA”**

TESIS

**“FACTIBILIDAD DE GENERACIÓN ELECTRICA CON BIODIGESTORES”**

PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO ELECTRICISTA

P.I.E. CARLOS HERNANDEZ GUZMAN

ASESOR: ING. ANA MARIA MALDONADO ARCEO

## RESUMEN

Las fuentes alternas de energía son una necesidad, debido a los niveles tan altos de contaminación que hemos generado por la industrialización. El petróleo ha sido hasta la fecha nuestra principal fuente de energía, haciendo a un lado la mas grande fuente de energía que el hombre a conocido, el **Sol**.

La energía eléctrica es imprescindible, debido a su fácil transportación, manejo, básicamente es la base de toda la tecnología que el ser humano necesita para la supervivencia de la especie.

En este proyecto se estudia la factibilidad para que en el estado de Michoacán se genere energía eléctrica utilizando biogás como combustible.

Para obtener este energético es necesario descomponer desechos orgánicos, los cuales dañan en gran medida el medio ambiente. Al descomponerse el material orgánico se obtiene por un lado biogás y por el otro un lodo el cual es rico en nitrógeno y otros nutrientes esenciales para la fertilidad de la tierra. Aquí se menciona también el proceso para llevar a cabo la generación de electricidad por este medio, los diferentes tipos de materiales que se pueden utilizar para la digestión, los diferentes biodigestores que se utilizan, la obtención del biogás, las filtraciones del gas, las modificaciones de los motores de combustión interna para que trabajen con este gas.

## LISTA DE FIGURAS

1.1	PROVEEDORES DE MATERIAL ORGANICO 1.1	10
1.2	BIODIGESTOR CASERO 1.2	10
1.3	TUBERIA DE BIOGAS 1.3	10
1.4	ESTUFA ALIMENTADA CON BIOGAS 1.4	10
1.5	BIODIGESTOR DE GRANJA POZO VERDE 1.5	11
2.1	BIODIGESTOR DE POLIETILENO 2.1	21
2.2	ESQUEMA DE BIODIGESTOR CHINO 2.2	22
2.3	BIODIGESTOR DE TERCERA GENERACIÓN 2.3	23
2.4	INSTALACION DE UN BIODIGESTOR DE CUARTA GENERACIÓN	24
3.1	MULTIPLES USOS DEL BIOGAS 3.1	31
3.2	SISTEMA DE BIOGAS PARA COCINAR 3.2	33
4.1	ILUSTRACION DEL CICLO DE OTTO 4.1	24
4.2	ILUSTRACION DEL CICLO DIESEL 4.2	38
4.3	MOTOR A GASOLINA ALIMENTADO CON BIOGAS 4.3	42
4.4	PRINCIPALES ELEMENTOS DEL CARBURADOR 4.4	44

## **LISTA DE TABLAS**

<b>1.1</b>	<b>Tabla 1.1 Consumo de acpm litros / Kw</b>	<b>13</b>
<b>1.2</b>	<b>Tabla 1.2 Costos de combustible y ,mantenimientos</b>	<b>15</b>
<b>1.3</b>	<b>Tabla 1.3 Total de horas de uso, potencia generada</b>	
	<b>Consumo de combustible.</b>	<b>15</b>
<b>1.4</b>	<b>Tabla1.4 Costos anuales</b>	<b>16</b>

# CONTENIDO DE LA TESIS

<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.2 OBJETIVO	3
1.3 JUSTIFICACION	3
1.4 METOLOGIA	3
1.5 DESCRIPCION DE LOS CAPITULOS	5
<b>2 BIOMASA</b>	<b>6</b>
2.1 CONVERSION TERMOQUICA	7
2.1.1 COMBUSTION DIRECTA	7
2.1.2 PIROLISIS	8
2.1.3 ACEITE DE LA PIROLISIS	8
2.1.4 GASIFICACION DE LA BIOMASA	8
2.2 CONVERSION BIOQUÍMICA	9
2.2.1 DIGESTION ANAERÓBICA	9
2.2.2 FERMENTACION ALCOHOLICA	9
2.3 CONVERSIONES FISICO QUÍMICAS	10
2.4 PLANTACIONES ENERGÉTICAS	10
<b>3 BIODIGESTORES</b>	<b>11</b>
3.1 BIODIGESTORES DE FLUJO CONTINUO	11
3.2 POSOS SÉPTICOS	11
3.3 BIODIGESTORES DE DOMO FLOTANTE	12
3.4 BIODIGESTOR DE DOMO FIJO	12
3.5 BIODIGESTORES DE ALTA VELOCIDAD	13
3.5.1 VENTAJAS DE LOS BIODIGESTORES DE ALTA VELOCIDAD	13
3.6 DIGESTOR DE SEGUNDA GENERACIÓN	14
3.7 DIGESTOR DE TERCERA GENERACIÓN	14
3.8 INTALACIONES INDUSTRIALES	15
3.9 BIODIGESTORES DE ESTRUCTURA FLEXIBLE	16
3.9.1 INSTALACION	17
3.9.2 MANTENIMIENTO	17
3.9.3 VENTAJAS	18
<b>4 BIOGAS</b>	<b>19</b>
4.1 PROCESO AERÓBICO	19
4.2 PROCESO ANAERÓBICO	20
4.3 MATERIAL ORGANICO	20
4.4 USOS DEL BIOGAS	21
4.5 PRINCIPIOS DE COMBUSTIÓN DEL BIOGAS	22
<b>5 CARACTERISTICAS DEL EQUIPO</b>	<b>24</b>
5.1 BIODIGESTOR	24
5.2 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	24

5.2.1 CICLO OTTO	25
5.2.2 MOTOR DIESEL	28
5.2.2.1 COMBUSTIBLE DIESEL	29
5.3 EL BIOGAS COMO COMBUSTIBLE PARA MORTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	30
5.4 GENERADOR ELECTRICO	33
5.5 CARBURADOR	34
6 PROPUESTA Y ANTECEDENTES	36
6.1 PROPUESTA	36
6.2 AGRICULTURA	36
6.3 GANADERIA	37
6.4 PESCA	37
6.5 EMPRESA UNIPOLLO S.A. DE C.V.	38
6.6 ANTECEDENTES	42
6.7 GRANJA POZO VERDE (COLOMBIA)	44
7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS	48
7.1 VENTAJAS	48
7.2 DESVENTAJAS	49
8 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	51
8.1 CONCLUSIONES	51
8.2 CONCLUSIONES GENERALES	52
8.3 TRABAJOS FUTUROS	53
BIBLIOGRAFÍA	54

# CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

En este proyecto se propone hacer uso de los desechos orgánicos agroindustriales, que generalmente tiramos al medio ambiente y que son causa de contaminación, para producir gas metano y finalmente utilizarlo como combustible para generar energía eléctrica. Mi principal interés en este proyecto se resume en tres grandes problemas que hoy en día ponen en peligro a la sociedad en general.

Por un lado es la contaminación al medio ambiente. Existen muchas y diversas formas de contaminantes, pero me voy a enfocar en los desechos orgánicos. Las agropecuarias son importantes en la región por su aportación económica, pero generan un gran impacto ambiental por el mal uso de los desechos. El principal efecto es por el uso y abuso del agua, y los daños a la salud que todavía no se cuantifican. Las grandes cosechas y la producción de granjas ganaderas, generan costos por la contaminación de la superficie y del agua por el uso de fertilizantes, plaguicidas, desechos orgánicos y otros desechos.

Los principales contaminantes del agua son los siguientes:

- Aguas residuales y otros residuos que demandan oxígeno (en su mayor parte materia orgánica, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua).
- Agentes infecciosos.
- Nutrientes vegetales que pueden estimular el crecimiento de las plantas acuáticas. Éstas, a su vez, interfieren con los usos a los que se destina el agua y, al descomponerse, agotan el oxígeno disuelto y producen olores desagradables.
- Productos químicos, incluyendo los pesticidas y fertilizantes.
- Sedimentos formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por las tormentas y escorrentías desde las tierras de cultivo, los suelos sin protección, las explotaciones mineras, las carreteras y los derribos urbanos.

Por otro lado está el fin de la era del petróleo. La civilización industrial se ha construido gracias a los combustibles fósiles y en especial al petróleo, por tener una alta densidad de energía, ser fácilmente extraíble, manejable y transportable. A finales del siglo XX el 85% de toda la energía mundial comercial provenía de los combustibles fósiles, distribuida de la siguiente forma: petróleo 40%, gas natural 23%, carbón 21% y otros combustibles un 1%. El paradigma dominante afirma que los recursos naturales

son ilimitados, gracias al desarrollo científico-técnico y ala acción del mercado, que tiende a sustituir el uso de los recursos limitados por otros abundantes. Pero esta civilización esta entrando en crisis por el inminente fin dela extracción de petróleo, al que seguirá al medio plazo el gas natural. Esta crisis no tiene precedentes, por lo que es difícil prever como se desarrollara su duración. Lo que sí se puede prever es que las civilizaciones que emergerán se basaran en otro paradigma menos arrogante y más proclive a buscar en el comportamiento de la naturaleza las soluciones ala actual insostenibilidad del sistema y, en el campo de la energía, a imitar las extraordinariamente eficientes técnicas naturales de captación de energía solar.

A pesar de la falta de datos fiables, la gran mayoría de los estudios llegan a la conclusión de que las reservas originarias de petróleo convencional oscilan alrededor de los 2 billones de barriles.

Por ultimo, el problema energético nacional que se puede resumir en los siguientes puntos:

1. - La generación de la energía eléctrica y térmica es insuficiente para que los cien millones de mexicanos vivan bien. Por ejemplo, para tener el nivel de vida europeo medio, se requeriría de una capacidad instalada para generar energía eléctrica de unos 75.000 MW, y solo tenemos 49.087 MW.

2. -Se depende excesivamente de los combustibles fósiles para la producción de energía. Mas del 91% de la energía primaria depende de estos. Esto es una situación no solo nacional sino mundial, y ha ocasionado gravísimos problemas ecológicos, como el calentamiento atmosférico y los cambios climáticos, el envenenamiento del aire, el agua y el suelo por diversos contaminantes y la destrucción de la capa de ozono.

3. - La energía al igual que los ingresos, esta muy mal distribuida. Alrededor de 6 millones de mexicanos no disponen de energía eléctrica por habitar lejos de las grandes líneas de distribución, y nunca serán electrificados por los medios convencionales debido a los altos costos de extender las líneas de distribución.

4. - El esquema tradicional de energizacion es completamente insostenible. No se puede seguir construyendo termoeléctricas sin ninguna limite.

**La única opción sostenible es basar el sistema energético nacional en las fuentes de energía renovables.**

## **1.2 OBJETIVO**

El objetivo de esta tesis es el estudio de la factibilidad para generación de energía eléctrica, utilizando como materia prima los desechos orgánicos que generalmente se tiran al medio ambiente, generando graves problemas de contaminación.

## **1.3 JUSTIFICACION**

En esta sencilla tesis se presenta una propuesta, que de implementarse, permitiría los siguientes beneficios: generar miles de puestos permanentes de trabajo, disminuir drásticamente la emisión de contaminantes al ambiente, fortalecer la industria, la agricultura, la ganadería, etc., propiciar el desarrollo tecnológico y científico nacional, evitar la deforestación, el arraigo de la gente del campo desalentando la inmigración hacia otros países, la preservación de nuestros valiosos recursos petrolíferos, reducir la importación de gas natural y LP, lograr una mejora radical de la situación económica y social del país. Lo que aquí propongo es impulsar las fuentes renovables de energía para así basar nuestro sistema energético en energía limpia.

La energía es indispensable para la humanidad, ya que la requerimos para todas nuestras actividades cotidianas: para la industria, para el transporte, para proveernos de agua y un sin número de satisfactores, y sin duda alguna, el desarrollo económico de un país está estrechamente relacionado con su capacidad de generar energía eléctrica y térmica.

Las fuentes renovables de energía pueden tener una contribución sustancial en la oferta total de energía eléctrica en México, en los combustibles para el transporte basados en biomasa.

## **1.4 METODOLOGÍA:**

El biogás se produce en un recipiente cerrado o tanque denominado biodigestor, el cual puede ser construido de diversos materiales como ladrillo, y cemento, metal o plástico. El biodigestor posee un ducto de entrada a través del cual se suministra el material orgánico (por ejemplo, estiércol animal o humano, las aguas sucias de las ciudades, residuos de mataderos, etc.) en forma conjunta con agua, y un ducto de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriológica abandona el biodigestor. El

proceso de digestión que ocurre en el interior del biodigestor libera la energía química almacenada en el material orgánico, la cual convierte en biogás.

El gas generado se almacena en un depósito y luego es derivado a un motor de gas, el cual está acoplado a un generador de corriente eléctrica. El radiador del motor se puede utilizar eficientemente para calentar el agua, la cual es circulada para calentar el fermentador y para uso doméstico de la casa del productor.

Este biogás puede ser utilizado como combustible para alimentar motores de combustión interna ya sea de diesel o gasolina. En el caso de los motores a diesel, el biogás puede reemplazar hasta en un 80% al diesel (la baja capacidad de ignición del biogás no permite reemplazar en su totalidad al diesel) En los motores a gasolina el biogás puede reemplazar al 100% a la gasolina.

## **1.5 DESCRIPCION DE LOS CAPITULOS.**

En el capitulo 1 se presenta una introducción al contenido de la tesis, se presenta la situación energética mundial, así como algunas fuentes alternas de energía.

En el capitulo 2 se describe el concepto de biomasa, así como las diferentes formas de aprovechar energía del sol.

En el capitulo 3 se describe el concepto de biodigestores, sus diferentes tipos de biodigestores, mantenimiento, características principales.

En el capitulo 4 se exponen las características de biogás su composición, los diferentes desechos orgánicos con los que se puede producir biogás, el proceso anaeróbico y aeróbico, los diferentes usos que se le puede dar al biogás, la combustión del biogás.

En el capitulo 5 se resumen las características del equipo necesario para generar electricidad.

En el capitulo 6 se hace un análisis de costo beneficio.

En el capitulo 7 se mencionan las ventajas y desventajas del sistema.

En el capitulo 8 se mencionan las conclusiones generales, aportaciones y trabajos futuros.

## **CAPITULO 2 BIOMASA.**

Desde tiempos remotos, la biomasa ha proporcionado a la humanidad no solamente comida, sino también combustibles, alimentos para el ganado, materia prima, fibras y abonos llamadas las "6Fas" (Por sus nombres en ingles "food, fuel, feed, fibre and fertiliser") Los combustibles forestales constituyeron la principal fuente de energía hasta principios del siglo XX cuando, en gran medida, fueron remplazados por los combustibles fósiles.

Hoy en día, la biomasa es la cuarta fuente de energía más importante del mundo, proporciona alrededor del 13% del consumo mundial de energía.

Casi dos millones de personas en los países subdesarrollados dependen de los combustibles tradicionales (madera, estiércol y residuos agrícolas)

La energía de la biomasa es una forma de energía solar ya que depende de la fotosíntesis. Las plantas verdes transforman la energía de la luz solar en energía química, al convertir el bióxido de carbono del aire el agua del suelo en compuestos orgánicos ricos en energía, principalmente azúcar, celulosa, almidón y lignina, pero también proteínas y aceites.

La eficiencia de la fotosíntesis es un factor limitante. Las plantas usan solamente las longitudes de onda entre 0.4 y 0.7 micras (espectro visible), que comprende alrededor del 45% de la energía que llega a la Tierra. Como una gran parte de esta energía es absorbida y dispersada por la atmósfera, la eficiencia máxima de la fotosíntesis es de 6.7% para las plantas de C4 (llamada así porque el primer producto es el azúcar de 4 carbonos), como el maíz, el sorgo, y la caña de azúcar. Y de 3.3% para plantas C3, como el trigo, el arroz, el fríjol de soya, los árboles y otras plantas. La fotosíntesis se ve afectada por ciertos factores, tales como temperatura, las enfermedades, la disponibilidad adecuada de los nutrientes y agua, que disminuyen dichos valores a 2-3% y 1% para las plantas C4 y C3 respectivamente.

Aunque este proceso no es muy eficiente, la energía generada es relativamente económica y se produce en grandes cantidades sobre bastas áreas en tierra.

La Tierra recibe anualmente 178,000 TW de energía de luz solar, misma que iguala 15000 veces el consumo mundial de la energía comercial y más de 100 veces las

reservas probadas de carbón, gas y petróleo del mundo. No obstante, las plantas solo usan 100 TW al año para producir toda la biomasa mundial: cerca de 120000 millones de toneladas de biomasa seca.

Los recursos energéticos de la biomasa son enormes y variados. La materia prima incluye los productos forestales, las plantas herbáceas, los cultivos agrícolas y sus residuos, los desechos municipales sólidos, los desechos animales y humanos, los desperdicios del procesamiento de los alimentos, y las plantas acuáticas.

Los sistemas de conversión de energía de la biomasa van desde simples procesos tradicionales hasta tecnologías modernas altamente eficientes.

La mayoría de las materias primas se usan directamente como combustibles con una mínima preparación. Algunas veces, la biomasa no se quema directamente, sino que se procesa en forma más adecuada en las cuales sus características permanecen básicamente sin cambios. Sin embargo, las tecnologías más eficientes requieren modificaciones significativas en las que los combustibles sólidos son transformados en combustibles secundarios con profundos cambios físicos, químicos y mecánicos.

Los principales procesos de conversión son:

## 2.1 CONVERSION TERMOQUÍMICA.

Esta basada en la descomposición de la biomasa por medio del calor. Esta transforma a la biomasa en productos con un valor más alto o más convenientes y, dependiendo de las condiciones del proceso, se obtienen diferentes proporciones de productos sólidos, líquidos y gaseosos.

Dentro de la conversión termoquímica se encuentran las siguientes:

### 2.1.1 Combustión directa.

Es el método más sencillo y común de capturar la energía contenida en la biomasa. Desde tiempos antiguos, la leña fue la principal fuente de energía hasta la Revolución Industrial cuando el carbón la desplazó casi totalmente.

### 2.1.2. Pirolisis.

Es una forma de descomponer los compuestos orgánicos (celulosa, carbohidratos y lignina) en su carbono, hidrógeno y oxígeno elemental. Este proceso ocurre cuando el

material orgánico (madera) es calentado a altas temperaturas (por encima de los 600°C) en una atmósfera deficiente de oxígeno como para que ocurra la combustión.

La pirolisis ocurre en un primer reactor donde la biomasa se encuentra rodeada de arena caliente. Los componentes volátiles de la biomasa son liberados aquí como gases combustibles y no-combustibles, alquitrán y vapor de agua, dejando como subproductos a los residuos de carbón (carbón fijo) y las cenizas. En el segundo reactor, el carbón es quemado para proporcionar calor a la pirolisis y a la gasificación del primer reactor. Finalmente el gas pasa a través de un purificador donde las partículas son removidas.

### **2.1.3. El aceite de la pirolisis**

Se obtiene a través de la descomposición termoquímica con el fin de recobrar tanto combustible líquido como sea posible. El aceite pirolisis recibe también muchos nombres, incluyendo el de bio-oil, aceite de madera y madera líquida.

La pirolisis rápida es un proceso avanzado de alta temperatura en el cual la biomasa, en ausencia de oxígeno, es calentada rápidamente. Se forma un líquido café oscuro que tiene un poder calorífico con un valor cercano a la mitad de la del petróleo convencional.

### **2.1.4. Gasificación de la biomasa.**

Es un proceso termoquímico que transforma la biomasa sólida en un combustible gaseoso. Los principios básicos de este proceso se conocen desde fines del siglo XVIII, y que las aplicaciones comerciales ya se usaban a mediados del siglo XIX cuando grandes áreas de Londres tenía lámparas de gas. Sin embargo, fue hasta los años de 1920 en el que el gas combustible se usó para la combustión interna de motores estacionarios, así como también en automóviles, camiones y tractores.

La gasificación de la madera o del carbón vegetal comprobó su viabilidad técnica e importancia en Europa en la 2ª Guerra Mundial, durante los tiempos de escasez de petróleo, cuando más de un millón de vehículos con gasificadores ayudaron a mantener en marcha los sistemas básicos de transporte. Después del aumento de los precios en 1973, la tecnología revivió y hubo numerosos intentos a través de agencias de apoyo al desarrollo para introducir la gasificación en países subdesarrollados.

La gasificación de la biomasa es un proceso de dos pasos en el que la biomasa sólida, en un ambiente escaso de oxígeno, se descompone mediante el calor para producir un gas combustible, compuesto principalmente de metano (CH<sub>4</sub>), hidrógeno (H<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO)

## **2.2 CONVERSION BIOQUÍMICA.**

La conversión bioquímica de la biomasa en un combustible se puede lograr por medio de la digestión anaeróbica o la fermentación. Ambas tecnologías están comercialmente disponibles y, para algunos procesos y en algunos países, su aplicación es masiva.

### **2.2.1 Digestión anaeróbica.**

La digestión anaeróbica es un proceso en el cual se descomponen los desechos orgánicos en estructuras más simples a través de bacterias anaeróbicas en un ambiente carente de oxígeno denominado biodigestor, este proceso da como resultado la producción de un gas llamado biogás compuesto principalmente de metano.

La producción de un combustible gaseoso a partir de la biomasa, para diferentes fines, ha estado en uso desde el siglo XIX. En 1859, un grupo de misioneros instaló un biodigestor en una colonia de leproso cerca de Bombay y utilizó el gas para cocinar y alumbrar, en 1896, el biogás fue utilizado en Exeter en el alumbrado público. Los principales esfuerzos de investigación sobre la digestión anaeróbica se realizaron entre 1930 y 1940. Pero con la llegada de los combustibles fósiles baratos la investigación se abandonó por varias décadas, hasta los años 1970 cuando ocurrió la crisis petrolera y los precios del petróleo aumentaron.

La producción de biogás se considera actualmente como una tecnología de punta.

### **2.2.2 Fermentación alcohólica.**

Las antiguas sociedades del mundo ya conocían y usaban la fermentación de la biomasa en la elaboración de vinos y licores. Su uso como fuente de energía comenzó solo hasta el siglo XIX; una de las primeras aplicaciones fue la fermentación del maíz en la producción de alcohol para un sistema de alumbrado en Cincinnati.

La fermentación de azúcares es básicamente el mismo proceso que la utilización en la elaboración de bebidas alcohólicas: se usa levadura y calor para descomponer los

azúcares complejos (sucrosa) en azúcares más simples (glucosa), produciendo etanol. La tecnología para producir alcohol, a partir de azúcar o del almidón contenidos en la biomasa, se encuentran actualmente muy desarrollada. Existe otro proceso, relativamente nuevo, para producir etanol que utiliza la parte celulósica de la biomasa (árboles, pastos y desechos agrícolas), pero todavía no están disponibles comercialmente.

Los combustibles líquidos de la biomasa alberga una esperanza particular para remplazar, de una manera económicamente competitiva, a los combustibles fósiles (gasolina y diesel) en el transporte.

### **2.3 CONVERSION FISICOQUÍMICA.**

La ruta de la conversión fisicoquímica produce un bio-combustible líquido a partir de la biomasa que contiene aceite vegetal. Esta tecnología es similar a las rutas de conversión para producir aceite vegetal en la industria alimenticia.

El aceite vegetal se produce al prensar y /o extraer el aceite de las semillas. De manera que solo se puede usar especies que contienen aceite, como la semilla de colza, el girasol, el frijol de soya y el aceite de palma.

Los aceites vegetales pueden utilizarse directamente como combustibles, pero tienen un mayor desempeño después de un tratamiento químico, un paso de esterificación que produce aceite ester metilo. Durante este proceso, el aceite se combina químicamente con el alcohol, ya sea metanol o etanol, y el combustible resultante se puede mezclar con diesel para su uso comercial.

Brasil desarrollo en los años de 1970 un proyecto llamado ProOleo, cuyo objetivo era el de sustituir el diesel por aceite vegetal usando sobre todo el aceite de palma. La tecnología ha estado disponible, pero todavía existen algunos detalles técnicos que deben mejorarse.

### **2.4 PLANTACIONES ENERGÉTICAS**

La investigación acerca de los cultivos leñosos de corta duración comenzó a mediados de los años 1960 en los Estados Unidos. Durante las siguientes décadas, el desarrollo en el mundo se centro en las plantaciones de comunidades o en las áreas forestales privadas que resultaron ser costosas y que tuvieron un éxito limitado. Sin embargo, la explotación forestal sostenible floreció en los años 1990. La posibilidad de

aumentar la producción de la biomasa a través de proyectos agroforestales, granjas forestales y el manejo natural de los bosques proporciona varios beneficios, además de un aumento en la producción de leña, el forraje, las medicinas, las frutas y los postes para la construcción.

## CAPITULO 3. BIODIGESTORES

Los biodigestores se constituyen como una valiosa alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias pues permiten:

- 1) Disminuir la carga contaminante.
- 2) Mejorar la capacidad fertilizante del material.
- 3) Eliminar los malos olores.
- 4) Generar un gas combustible denominado biogás el cual tiene diversos usos.

Durante el desarrollo de los biodigestores se han probado muchos tipos de construcciones, buscando una mayor eficiencia en la producción y un menor costo en la inversión.

### **3.1 BIODIGESTORES DE FLUJO CONTINUO.**

En los biodigestores de flujo continuo el biogás es almacenado por encima del fermentador y el material residual es depositado en un estanque abierto para luego ser utilizado como fertilizante. El biodigestor es alimentado regularmente con un cierto volumen, y con un sistema de bombeo se le retira el mismo volumen de material residual.

### **3.2 POSOS SÉPTICOS**

Es el más antiguo y sencillo digestor anaerobio que se conoce, utilizado normalmente para la disposición de aguas residuales domésticas. Se cree que de allí deriva el uso potencial de los gases producidos por la fermentación anaeróbica, para el uso doméstico.

Para la correcta operación de estos pozos es requisito indispensable aislar las aguas servidas que caen en él, de las que contienen jabón o detergentes. El efecto de los jabones y en especial la de los detergentes, inhibe la acción metabólica de las bacterias. Cuando no es posible separar las aguas negras de las jabonosas, como el alcantarillado

urbano, es necesario hacer un tratamiento químico con polímeros a esta agua a fin de solucionar este problema antes de iniciar la fermentación anaeróbica.

### **3.3 BIODIGESTOR DE DOMO FLOTANTE**

Este biodigestor consiste en un tambor, hecho de acero o fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) Normalmente se construye la pared del reactor de ladrillo. Se entrapa el gas producido bajo una tapa flotante que sube y se cae en una guía central. El reactor se alimenta semi-continuamente a través de una tubería de entrada.



**Fig. 3.1 Biodigestor de polietileno**

### **3.4 BIODIGESTOR DE DOMO FIJO (CHINO)**

Este reactor consiste en una cámara de gas firme construido de ladrillo, piedra u hormigón. La sima y el fondo son hemisféricos y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme. La tubería de entrada es recta y nivelada en los extremos, esto para garantizar que no halla entrada de oxígeno al biodigestor. Hay un tapón en la cima para la inspección del biodigestor y así hacer más fácil el mantenimiento del mismo. En el domo del biodigestor se almacena el gas producido de la digestión con altas presiones. Esto crea fuerzas estructurales bastantes altas y es la razón para la sima hemisférica y el fondo. Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para la construcción

de este tipo de biodigestores. Esta instalación tiene como ventaja su elevada vida útil (puede durar como promedio 20 años), siempre que se realice un mantenimiento sistemático.

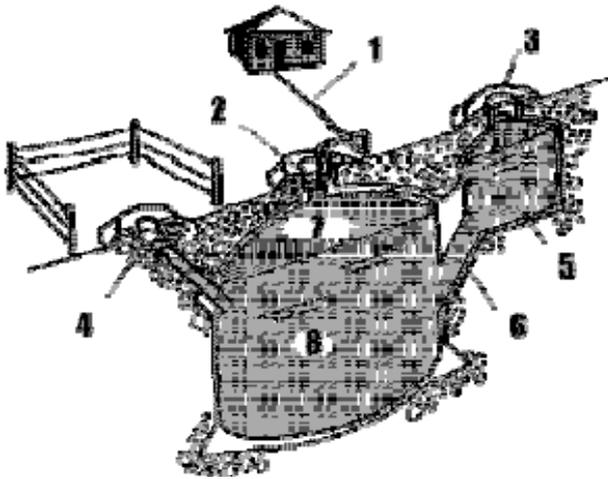


Fig. 3.2 Esquema del digestor chino: 1. tubería de salida del gas; 2. Sello removible; 3. Tapa móvil; 4. Entrada; 5. Tanque de desplazamiento; 6. Tubería de salida; 7. Almacenamiento de gas; 8. Materia orgánica.

### 3.5 DIGESTORES DE ALTA VELOCIDAD A FLUJO INDUCIDO

Estos son los utilizados comúnmente en instalaciones industriales y semi-industriales. Generalmente trabajan a presión constante, por lo que se pueden catalogar como biodigestores tipo Hindú Modificado. Se diferencian de los biodigestores convencionales en que se le ha agregado algún tipo de agitación mecánica, continua e internamente, que permite al material aun no digerido, entrar en contacto con las bacterias activas y así obtener buena digestión de la materia orgánica, con tiempos de retención hidráulicos relativamente cortos.

#### 3.5.1 VENTAJAS DE LOS BIODIGESTORES DE ALTA VELOCIDAD

- Menor tiempo de operación.
- Evita la formación de costras de material dentro del digestor.
- Logra la dispersión de materiales inhibitorios de acción metabólica de las bacterias, impidiendo las concentraciones localizadas de material potencialmente toxico para el sistema.
- Ayuda a la desintegración de partículas grandes en otras más pequeñas, que aumentan el área de contacto y por lo tanto la velocidad de digestión.

- Mantiene una temperatura mas uniforme de la biomasa dentro del digestor para una reacción y degradación mas uniformes.
- Inhibe el asentamiento de partículas biodegradables de mayor tamaño.
- Permite una más rápida separación y ascenso del gas a medida que se va formando dentro del digestor.
- Mejora las condiciones de control y estabilidad de la biomasa dentro del digestor.

### 3.6 DIGESTOR DE SEGUNDA GENERACIÓN

Divide al convencional en dos cámaras, una de ellas en un nivel inferior del resto del digestor. Utiliza compartimentos en ferro cemento o mampostería, espaciados adecuadamente para retener los materiales y partículas sólidas grandes, pero permiten el paso del gas y los líquidos. A este modelo se le puede adicionar hasta un 25% de carga de origen vegetal sin que se atasque o paralice la operación.

### 3.7 DIGESTOR DE TERCERA GENERACIÓN

Modifica radicalmente el de tipo Hindú tradicional, aunque sigue los lineamientos de está clase. Ha logrado una eficiencia de trabajo en forma continua que permite cargarlo con toda clase de materiales, hasta un 50 o 60 % de material de origen vegetal mezclados con excrementos, empleando una sola unidad que trabaja en forma de digestor continuo.

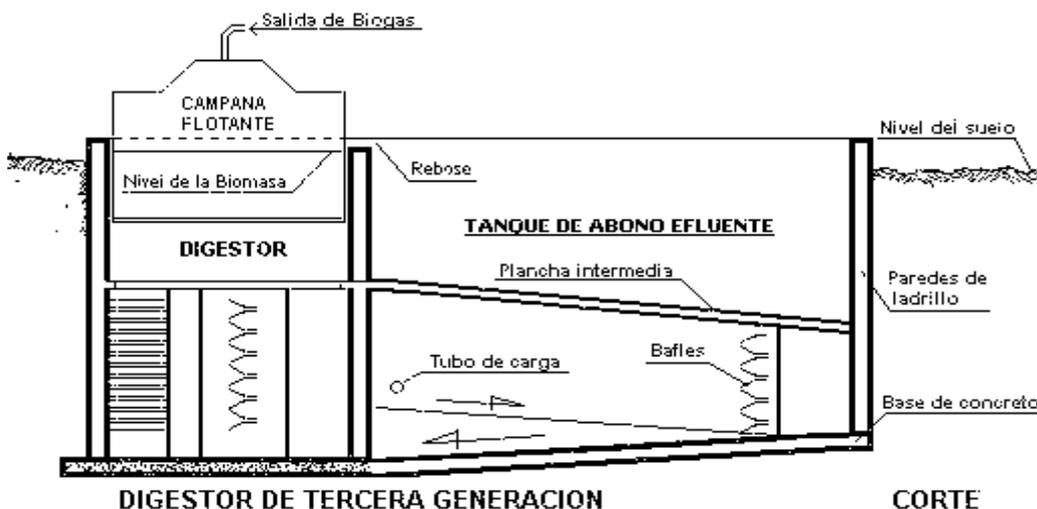


Fig. 3.3 Biodigestor de tercera generación.

### 3.8 INSTALACIONES INDUSTRIALES

Las instalaciones industriales de producción de biogás emplean tanques de metal que sirven para almacenar la materia orgánica y el biogás por separado. Este tipo de planta, debido al gran volumen de materia orgánica que necesita para garantizar la producción de biogás y la cantidad de bio-fertilizante que se obtiene, se diseña con grandes estanques de recolección y almacenamiento construidos de ladrillo.

Con el objetivo de lograr su mejor funcionamiento se usan sistemas de bombeo para mover el material orgánico de los estanques de recolección hacia los biodigestores, y el bio-fertilizante de los digestores hacia los tanques de almacenamiento. También se utilizan sistemas de compresión en los tanques de almacenamiento del biogás con el objetivo de que el gas llegue hasta el último consumidor.

Para evitar malos olores se usan filtros que separan el gas sulfhídrico del biogás, además de utilizarse válvulas de corte y de seguridad.



Fig. 3.4. Instalación de un biodigestor del tipo industrial

### **3.9 BIODIGESTOR DE ESTRUCTURA FLEXIBLE**

La inversión tan alta que exigía construir un biodigestor de estructura fija resultaba una limitante para el poco ingreso de los pequeños granjeros. Esto motivo a los ingenieros en la provincia de Taiwán en los años sesentas a hacer biodigestores de materiales flexibles más baratos. Inicialmente usaron nylon y neopreno pero resultaron ser relativamente costoso. Un desarrollo mayor en los años setenta era combinar PVC con el residuo de las refinerías de aluminio producto llamado “el barro rojo PVC”.

Esto fue remplazado después por polietileno menos costoso que es ahora el material mas comúnmente usado en América Latina, Asia y África. Desde 1986, el Centro de Investigaciones Sustentables de Producción Agrícola (CIPAV), ha estado recomendando biodigestores de plástico económicos como la tecnología apropiada para hacer mejor uso de excrementos del ganado, reduciendo así la presión en otros recursos naturales.

En este digestor el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena de biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma. Este tipo de biodigestores son sencillos fácil de instalar y muy económicos, ya que sus componentes son comunes como son:

**Tubo de admisión:** Es un tubo de plástico de 20 a 30 cm de diámetro, que debe usarse para la admisión de desechos y debe sumergirse en los desechos por lo menos a 15 cm de profundidad, lo cual previene el escape de metano, es necesario utilizar un pozo registro para limpiar el material celulítico antes de ingresar al biodigestor, ya que este podría obstruir la entrada del material.

**Fermentador y bolsa de almacenamiento:** Este es el principal componente del biodigestor esta en la parte superior. El tamaño del fermentador depende de la cantidad de desechos a fermentar, pero este no debe ser muy grande, si la cantidad de desechos a fermentar es muy grande se pueden conectar cámaras múltiples por medio del tubo plástico, este sistema posee una mayor área superficial y es más eficiente. Su limitante es que es más costoso. Es recomendable que el biodigestor este aislado y cuente con un dispositivo de calentamiento y agitación. Un buen mecanismo seria construir una pared de tierra en el lado norte del biodigestor para prevenir el enfriamiento a causa de los vientos, y en el lado sur un colector solar simple para la calefacción esto con el fin de mantener la temperatura del fermentador constante. La bolsa de almacenamiento de gas

puede incorporarse al digestor o estar independiente e instalarse cerca de donde se va a consumir el gas.

**Tubo del afluente:** Es un tubo de plástico de 4 a 6 pulgadas de diámetro, este se localiza por debajo del tubo de entrada en el lado opuesto del biodigestor, se debe mantener el flujo constante.

**Tubo de metano:** Este tubo se ubica en la parte de la bolsa de almacenamiento de metano, este tubo debe tener 2 pulgadas de diámetro y se usa para transportar el biogás a su lugar de uso, el tubo posee una salida que esta sumergida en agua y que drena la humedad condensada.

**Dispositivo de seguridad:** Este se utiliza para evitar la ruptura del fermentador debido a presiones altas de la fermentación anaeróbica de los desechos.. Consiste en una botella de al menos 10 cm de profundidad insertada al tubo de salida, cuando la presión del digestor es mayor a la del agua, se libera el biogás.

**Tubo de limpieza:** El lodo de sedimentos en el fondo del biodigestor debe ser removido cada dos años, la tubería sirve para evacuar todos estos lodos mediante mecanismos de bombeo, se pueden instalar varios de estos tubos si el biodigestor es muy largo.

### **3.9.1 INSTALACIÓN**

Lo primero que se debe de hacer es cavar un foso un poco mayor al tamaño del biodigestor, luego se procede a instalar el biodigestor y los tubos de admisión y afluentes. Después de tres o cuatro días se llena el foso con agua, se descargan los desechos de los animales, el agua que rodea el digestor puede ayudar a expandirse completamente y disminuir la tensión que ejerce en los tubos de entrada y salida..

La ubicación conveniente para un biodigestor, es preferible un sitio cercano al lugar donde se encuentra la materia prima a transformar. Las paredes y el suelo deben ser firmes y libres de piedras filosas, raíces o cualquier material que pueda romper nuestro biodigestor. Además se debe de construir una trinchera para desviar el agua de la lluvia.

### **3.9.2 MANTENIMIENTO**

Estos biodigestores podrían tener una durabilidad de 20 años, en el caso de presentar rupturas de éste, pueden ser fácilmente reparadas del mismo material del

biodigestor usando un adhesivo fuerte, la parte reparada debe permanecer seca hasta su endurecimiento.

### **3.9.3 VENTAJAS**

Las ventajas que este tipo de biodigestores presentan son:

- Qué este tipo de biodigestores es muy económico y fácil de transportarlo por su bajo peso, en especial en aquellos sitios de difícil acceso.
- Al ser hermético se reducen las pérdidas.
- Una reducción del trabajo físico.
- Una reducción de la presión en los recursos naturales como combustible y carbón de leña.
- Producción de energía barata.
- Mejora el cultivo reciclando estiércol a través del biodigestor, producción de gas y fertilizantes excelentes.

## **CAPITULO 4    BIOGAS.**

El biogás es una fuente de energía renovable cuyo componente principal es el gas metano. Este se genera a través de la descomposición de la materia orgánica. Para la generación de biogás y de energía eléctrica se puede utilizar cualquier tipo de desecho orgánico como se indica a continuación:

- Estiércol de ganado, cerdos, gallinas, etc.
- Todo tipo de desechos orgánicos agrícolas: pulpa de café, restos de maíz, de fruta, bagazo de caña, restos de papas, hortalizas, desechos bananeros, etc.
- Desechos agroindustriales producidos en: fabrica de conservas, empacadoras de frutas y extractoras de jugo, extractoras de aceites de palma africana, etc.
- Grasas orgánicas, restos de procesadoras de pollo y carne, desechos de procesadoras de camarón, frutos del mar, pescado etc.
- Fuentes orgánicas en desechos sanitarios, depósitos de basura, plantas depuradoras.
- Desechos de productora de azúcar, alcoholes y licores.
- Desechos forestales.

El biogás es un producto de metabolismo de bacterias metanogénicas que participan en la descomposición de tejidos orgánicos en un ambiente húmedo y carente de oxígeno. A su vez durante el proceso de descomposición, algunos compuestos orgánicos son transformados a minerales, los cuales pueden ser utilizados fácilmente como fertilizante para los cultivos. La producción de biogás va a depender, principalmente, de los materiales utilizados, la temperatura y el tiempo de descomposición.

Existe una estrecha relación entre la temperatura y el tiempo de descomposición del material en el biodigestor. A mayor temperatura más rápido será el proceso de descomposición; esto significa que el material requiere menos tiempo dentro del fermentador.

### **4.1 PROCESO AERÓBICO**

Si se esparcen los desechos orgánicos en el campo, en solo dos o tres semanas no quedara nada visible, para que esto suceda, el guano debe descomponerse en gas en ese tiempo o en otro compuesto que tanto el suelo como las plantas pueden aprovechar fácilmente. Estas transformaciones las realizan microorganismos que se encuentran en

el guano y también en el suelo. Ya que estas transformaciones y descomposiciones ocurren al aire libre, se le denomina procesos aeróbicos.

Si en vez de esparcir el guano en el campo se vierte en un biodigestor, el cual es hermético y carece de oxígeno, el proceso microbiológico ocurre igual, solo que en este caso es un proceso anaeróbico.

## **4.2 PROCESO ANAERÓBICO**

El proceso anaeróbico de descomposición de guano tiene una cierta tolerancia frente a la presencia de oxígeno, para lo cual hay dos explicaciones. En primer lugar la fermentación del guano ocurre en un sistema muy heterogéneo de microorganismos, y aunque en principio es un proceso anaeróbico, participan hasta en un 50% bacterias aeróbicas y facultativas. Estas bacterias aeróbicas consumen en corto tiempo el oxígeno presente, sin que se produzca un daño importante al sistema en general.

En segundo lugar no es de vital importancia para las bacterias anaeróbicas el que haya oxígeno presente. Mucho más importante es el llamado potencial Redox. Este potencial (entregado en mVolts) es una medida que indica la tendencia de los elementos químicos a captar o ceder electrones. El oxígeno tiene muy alto potencial redox ( $E_h = +810 \text{ mV}$ ) y las bacterias anaeróbicas pueden desarrollarse solo a muy bajo potencial; Por eso la importancia de la presencia de bacterias facultativas que consumen el oxígeno, para lograr rápidamente el potencial óptimo para el ambiente anaeróbico.

## **4.3 EL MATERIAL ORGÁNICO**

Los guanos son muy heterogéneos están compuestos por diversos materiales sólidos (estiércol, restos de alimentos, paja, pelos, etc.) y sustancias solubles, por lo cual la descomposición de estos materiales no es uniforme, ni rápida. En especial la lignina (principal compuesto de la madera y pajas), que para ambientes anaeróbicos es un compuesto casi inerte. Adicionalmente, no solo es muy difícil de descomponer, sino protege a las estructuras vegetales del ataque de las bacterias. Esta función de protección es tan importante que hoy en día se calcula el grado de descomposición de los materiales respecto a su contenido de lignina.

Aunque la producción de gas depende principalmente de la temperatura y del tiempo de exposición a las bacterias, también depende de la composición química de los

elementos que participan. Así, se puede definir el porcentaje de sus partes que pueden formar metano, a partir de la estructura química de cada compuesto.

Las grasas son las que más metano producen y las proteínas las que aportan el particular olor de descomposición, por su aporte de hidrógeno sulfurado.

La descomposición de guano también tiene una gran diferencia dependiendo de su origen. En el caso del guano de cerdo, la descomposición del material orgánico alcanza un 60%, a diferencia del guano de bovinos que solo alcanza entre un 25 y un 40%. Esta diferencia se debe a que en el caso de este último ya se ha producido un proceso anaeróbico, por lo cual el guano es un residuo de este proceso. Además, el guano de bovino, a diferencia del de cerdos puede contener más paja y por lo tanto lignina de difícil descomposición.

En general el guano de bovinos tiene una descomposición más difícil por que la reacción de carbono y nitrógeno degradable (C : N) es muy estrecha. Si se le agrega carbono de fácil degradación, como por ejemplo efluente de silo, papas, pastos o similares, la producción de gas sigue su curso. Por este motivo hoy en día se utilizan cada vez más materiales como co-fermentadores, llegando al extremo de introducir a los biodigestores ensilaje de maíz en forma directa.

#### **4.4 USOS DEL BIOGAS**

En principio el biogás puede ser utilizado en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural. El gráfico que se encuentra a continuación resume las posibles aplicaciones.

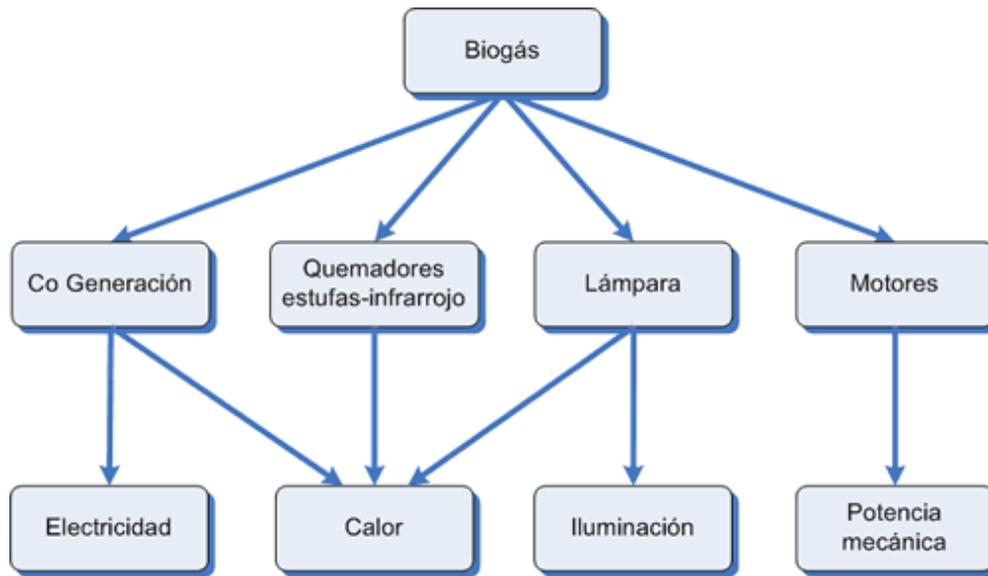


FIG. 4.1 MULTIPLES USOS DEL BIOGAS

## 4.5 PRINCIPIOS DE COMBUSTIÓN DEL BIOGAS

El biogás mezclado con aire puede ser quemado en un amplio espectro de artefactos descomponiéndose principalmente en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . La combustión completa sin el exceso de aire y con oxígeno puro, puede ser representada por las siguientes ecuaciones químicas:



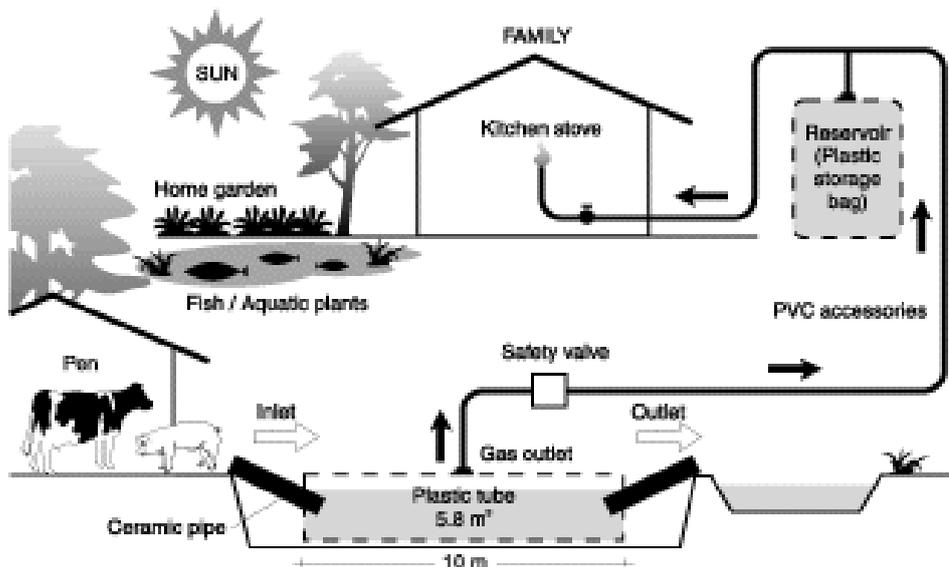
El requerimiento de aire mínimo sería del 21% pero esta cifra debe ser aumentada para lograr una buena combustión.

La relación aire-gas puede ser ajustada aumentando la presión del aire, incrementando la apertura de la válvula dosificadora de gas (el biogás requiere de una apertura 2 a 3 veces mayor a la utilizada por el metano puro y modificando la geometría del paso de aire desde el exterior)

Debido al contenido de dióxido de carbono, el biogás tiene una velocidad de propagación de la llama lenta, 43 cm /seg. y por lo tanto la llama tiende a escaparse de los quemadores.

La presión para un correcto uso del gas oscila entre los 7 y los 20 mbar. Se debe tener especial cuidado en este aspecto debido a que se deberán calcular las pérdidas de presión de salida del gasómetro (adicionándole contrapesos en el caso de gasómetros flotantes)

El principio básico para obtener el biogás es el mismo para cualquier tipo de biodigestor, el biodigestor posee un ducto de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica, en forma conjunta con agua, y un ducto salida en el cual el material ya digerido por la acción bacteriológica abandona el biodigestor. Los materiales que entran y salen del fermentador se les denomina afluente y efluente respectivamente. El proceso de digestión que ocurre en el interior del biodigestor libera la energía química contenida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogás.



#### 4.2 SISTEMA DE BIOGAS PARA COCINA

## **CAPITULO 5**

# **CARACTERISTICAS DEL EQUIPO**

En este capítulo describimos el proceso de la generación de energía eléctrica utilizando el biogás como combustible para un motor de combustión interna.

Los elementos principales para generar electricidad a partir de biogás son los siguientes:

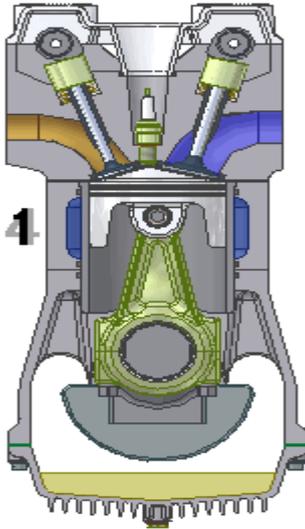
### **5.1 BIODIGESTOR.**

Como ya se menciona en capítulos anteriores hay varios tipos de biodigestores (de domo flotante, de domo fijo, de alta velocidad, industriales, etc.) La elección dependerá de varios factores: la cantidad de energía a producir, la materia orgánica que se va a fermentar, el costo del sistema, el clima, etc. Es importante tener en cuenta estos factores al momento de elegir un biodigestor para tener la máxima eficiencia en nuestro sistema.

Para una producción de energía eléctrica menor 75 KW se recomiendan biodigestores del tipo flexibles debido a su bajo costo, alrededor de 2000 pesos o menor dependiendo la capacidad. Además de tener una instalación y mantenimiento sencillo, fácil de transportarlo, etc.

### **5.2 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.**

El motor de combustión interna es la máquina que convierte la energía química del combustible en energía mecánica. Existen dos tipos de motores de combustión interna como son, motores diesel, a gasolina, y de diferentes tamaños y potencias.



5.1 ILUSTRACION DEL CICLO OTTO

### 5.2.1 CICLO OTTO O DE 4 TIEMPOS

El ciclo de un motor de combustión interno puede definirse como la serie completa de acontecimientos que ocurren antes de que vuelvan a repetirse.

El motor con ciclo de 4 tiempos necesita 4 movimientos de cada pistón, dos hacia arriba y dos hacia abajo ( dos revoluciones completas del cigüeñal), para completar dicho ciclo los tiempos, en el orden en que se reproducen se llaman:

Admisión

Compresión

Explosión o carrera de fuerza

Escape o descarga

#### **PRIMER TIEMPO: ADMISIÓN**

0° PMS

Admisión

270° 90°

180° PMI

La primera etapa del ciclo Otto, la de admisión, queda representada. Empieza cuando el pistón esta colocado en la parte superior del cilindro. Con la válvula de escape cerrada y la admisión abierta, el pistón se mueve hacia abajo provocando la admisión al producirse un vacío parcial en el interior del cilindro. La presión atmosférica, por ser mayor que la que existe en el interior del cilindro, hace que entre aire por el carburador, donde se mezcla en proporciones adecuadas con el combustible.

Esta mezcla pasa por el tubo de admisión múltiple al interior del cilindro.

Cuando el pistón llega al punto muerto inferior (PMI) la presión en el interior del cilindro sigue siendo algo menor que la presión atmosférica exterior y la mezcla continua entrando en el cilindro. La válvula de admisión sigue abierta mientras que el pistón inicia el movimiento hacia arriba hasta que la posición de la leva hace que la válvula se cierre. La distancia que recorre el pistón hacia arriba hasta que cierra la válvula es realmente muy pequeña.

## **SEGUNDO TIEMPO: COMPRESIÓN**

0° PMS

Compresión Admisión

270° 90°

180° PMI

La compresión en un motor de 4 tiempos, sigue inmediatamente la admisión.

Ambas válvulas están cerradas y la mezcla de combustible queda en el cilindro que ahora esta cerrada. El pistón al moverse hacia arriba dentro del cilindro comprime la mezcla combustible al terminar esta etapa el pistón ha completado dos movimientos, uno hacia abajo y el otro hacia arriba y el cigüeñal un círculo completo o sea 360°.

## **TERCER TIEMPO: EXPLOSION O CARRERA DE FUERZA**

0° PMS

admisión

compresión

**270° 90°**

Explosión

**180° PMI**

Cuando el pistón ha llegado al punto muerto superior (PMS) la mezcla combustible que entró al cilindro durante la admisión ha quedado comprimida. En este momento del ciclo dicha carga combustible se inflama por medio de una chispa producida por la bujía y se verifica la combustión. Debido al calor generado por la combustión, (aproximadamente de 4000 a 4500 ° C igual a 2204 menos 2491 ° C. Se expanden los gases y se produce una alta presión en el interior del cilindro. Esta presión actúa en forma de “de empuje” contra la cabeza del pistón, obligando a bajar, como se ve, lo que constituye la transmisión de la energía al cigüeñal en forma de fuerza de torsión o rotatoria.

#### **CUARTO TIEMPO: ESCAPE O DESCARGA**

**0° PMS**

Admisión

compresión

Explosión

**270° 90°**

escape

**180° PMI**

Cuando el pistón se acerca al punto muerto inferior (PMI) la posición que corresponde al fin de la energía, la válvula de escape, se abre disminuyendo la presión en el interior del cilindro. Esta válvula permanece abierta mientras el pistón se mueve hacia arriba, hasta que llega al punto muerto superior (PMS). Cuando el pistón alcanza la

posición más alta se cierra la válvula de escape. En la mayoría de los motores la válvula de escape se cierra poco después de alcanzado el punto muerto superior (PMS), antes de que el pistón llegue a la parte superior en la admisión empieza a abrirse la válvula de admisión, esta permite que esté abierta totalmente cuando el pistón baja de nuevo para iniciar la admisión siguiente.

### **5.2.2 EL MOTOR DIESEL**

Rudolf Diesel desarrolló la idea del motor diesel y obtuvo la patente alemana en 1892. Su logro era crear un motor con alta eficiencia. Los motores a gasolina fueron inventados en 1876 y, específicamente en esa época, no eran muy eficientes.

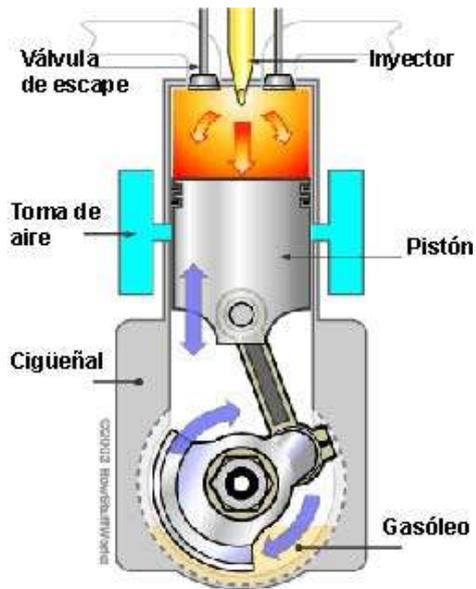
Las diferencias principales entre el motor a gasolina y el Diesel eran:

Un motor a gasolina succiona una mezcla de gas y aire, lo comprime y enciende la mezcla con una chispa. Un motor diesel sólo succiona aire, lo comprime y entonces le inyecta combustible al aire comprimido. EL calor del aire comprimido enciende el combustible espontáneamente.

Un motor diesel utiliza mucha más compresión que un motor a gasolina. Un motor a gasolina comprime a un porcentaje de 8:1 a 12:1, mientras un motor diesel comprime a un porcentaje de 14:1 hasta 25:1. La alta compresión se traduce en mejor eficiencia.

Los motores diesel utilizan inyección de combustible directa, en la cual el combustible diesel es inyectado directamente al cilindro. Los motores a gasolina generalmente utilizan carburación en la que el aire y el combustible son mezclados un tiempo antes de que entre al cilindro, o inyección de combustible de puerto en la que el combustible es inyectado a la válvula de succión (fuera del cilindro).

La siguiente figura muestra un motor diesel de forma simple.



5.2 ilustración del ciclo diesel

Note que el motor diesel no tiene bujía, se toma el aire y lo comprime, y después inyecta el combustible directamente en la cámara de combustión (inyección directa. Es el calor del aire comprimido lo que enciende el combustible en un motor diesel.

En esta figura simplifica, el aparato amarillo pegado arriba del cilindro es un inyector de combustible. De cualquier forma, el inyector en un motor diesel es el componente más complejo y ha sido objeto de gran experimentación en cualquier motor particular debe ser colocado en variedad de lugares. El inyector debe ser capaz de resistir la temperatura y la presión dentro del cilindro y colocar el combustible en un fino rocío. Mantener el rocío circulando en el cilindro mucho tiempo, es también un problema, así que muchos motores diesel de alta eficiencia utilizan válvulas de inducción especiales, cámaras de pre-combustión u otros dispositivos para mezclar el aire en la cámara de combustión y para que por otra parte mejore el proceso de encendido y combustión.

Una gran diferencia entre un motor diesel y un motor a gasolina está en el proceso de inyección.

La mayoría de los motores de autos utilizan inyección de puerto o un carburador en lugar de inyección directa. En el motor de un auto, por consiguiente, todo el combustible es guardado en el cilindro durante el choque de succión, y se quema todo instantáneamente cuando la bujía dispara. Un motor diesel siempre inyecta su combustible directamente al cilindro, y es inyectado mediante una parte del choque de poder. Esta técnica mejora la eficiencia del motor diesel.

La mayoría de motores diesel con inyección indirecta traen una bujía incandescente de algún tipo que no se muestra en la figura. Cuando el motor diesel está frío, el proceso de compresión no puede elevar el aire a una temperatura suficientemente alta para encender el combustible. La bujía incandescente es un alambre calentado eléctricamente (recuerde los cables calientes que hay en una tostadora) que ayuda a encender el combustible cuando el motor está frío.

### **5.2.2.1 COMBUSTIBLE DIESEL**

Si usted ha comparado el combustible diesel y la gasolina, sabrá que son diferentes. Huelen diferente. El combustible diesel es más pesado y aceitoso. El combustible diesel se evapora mucho más lento que la gasolina -su punto de ebullición es más alto que el del agua-. Usted oirá a menudo que al combustible diesel lo llaman aceite diesel por lo aceitoso.

El combustible diesel se evapora más lento porque es más pesado. Contiene más átomos de carbón en cadenas más largas que la gasolina (la gasolina típica es  $C_9H_{20}$  mientras el diesel es típicamente  $C_{14}H_{30}$ ). Toma menos tiempo refinar para crear el combustible diesel, ya que es generalmente más barato que la gasolina.

El combustible diesel tiene una densidad de energía más alta que la gasolina. En promedio, un galón de combustible diesel contiene aproximadamente  $147 \times 10^6$  joules, mientras que un galón de gasolina contiene  $125 \times 10^6$  joules. Esto, combinado con la eficiencia mejorada de los motores diesel, explica porqué los motores diesel poseen mejor kilometraje que el equivalente en gasolina.

## **5.3 EL BIOGAS COMO COMBUSTIBLE PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.**

El biogás se utiliza como combustible para los motores de combustión interna. En el caso de los motores diesel, el biogás puede reemplazar hasta en un 80% del diesel, la baja capacidad de ignición del biogás no permite reemplazar al diesel en su totalidad. En los motores a gasolina el biogás si puede reemplazar en su totalidad a la gasolina. Como ya se ha mencionado anteriormente el metano es el principal componente del biogás, el metano en forma pura es un gas inodoro e incoloro. Los otros componentes importantes del biogás son bióxido de carbono, aproximadamente en 30% y concentraciones menores de otros gases tales como sulfuro de hidrógeno e hidrógeno.

El biogás se quema con una llama azul y posee un alto poder calorífico de aproximadamente 4650 a 6000 Kcal. / m<sup>3</sup>.

Para emplear el biogás en motores de combustión interna se necesitan ciertos requisitos:

- 1) Reducir el sulfuro de hidrógeno contenido en el gas, a menos de 0.25% para prevenir la corrosión de las partes metálicas.
- 2) Contar con un sistema para extraer el bióxido de carbona, con esto aumenta el poder calorífico del gas resultante.

Siendo el biogás en su mayor parte metano, analizaremos la combustión de éste.

La ecuación completa para el metano es:



Esto quiere decir que si hay un metro cúbico de gas metano mas 2 metros cúbicos de oxígeno, generaran al quemarse, 1m<sup>3</sup> de gas carbónico mas 2m<sup>3</sup> de vapor de agua.

El aire tiene 21% de oxígeno por volumen, entonces la mínima cantidad de aire necesaria para la completa combustión de este es:

$$(2 * 100) / 21 = 9.5 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{ de metano.} \quad (5.2)$$

Dado que el biogás solo contiene un 60% de metano la mínima cantidad de aire para la combustión completa de éste será:

$$9.5 * 0.6 = 5.7 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{ de biogás.} \quad (5.3)$$

Admitiendo un exceso de aire de 40% tendremos que:

$$\text{Aire requerido} = 5.7 * (1 + 0.4) = 7.8 \approx 8 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{ de biogás} \quad (5.4)$$

En la practica se utiliza se utiliza una mezcla de aire / combustible en la proporción de 1:9 a 1:10 en volumen.

Un bosquejo y dimensiones aproximadas de una productora de biogás que genera energía eléctrica.

Considerando que se tiene un generador de 2 Kw. y se calcula que trabaja durante 4 hrs. Diarias, tendríamos que la energía producida seria de 8 Kwh. / día, en base a estos datos buscaremos la cantidad necesaria de biogás.

El calculo depende de la eficiencia tanto del generador como del motor de combustión interna.

$$\eta_t (\text{motor}) = \text{Potencia desarrollada en el eje} / \text{Energía del combustible} \quad (5.5)$$

$$P_{\text{eje}} = \eta_t (\text{motor}) * \text{energía del combustible} \quad (5.6)$$

$$\eta_{\text{Gen}} = \text{Energía eléctrica de salida} / \text{Potencia de entrada} (P_{\text{eje}}) \quad (5.7)$$

$$P_{\text{eje}} = \text{energía eléctrica de salida} / \eta_{\text{gen}}. \quad (5.8)$$

Sustituyendo

$$\text{Energía del gas} = \text{Energía eléctrica de salida} / (\eta_t * \eta_{\text{gen}}) \quad (5.9)$$

Sabemos que la energía de salida es de 8Kwh/día

Suponiendo:

$$\eta_t = 20\%$$

$$\eta_{\text{gen}} = 75\%$$

$$E_{\text{biogás}} = (8\text{Kwh/día}) / (0.20 * 0.75) = 53.33 \text{ Kwh./día} \quad (5.10)$$

$$1\text{Kwh} = 860 \text{ Kcal.}$$

Por lo tanto tenemos:

$$E_{\text{biogás}} = 53.33 \text{ Kwh.} / \text{día} * 860 \text{ Kcal./ Kwh.} = 45863.8 \text{ Kcal./día} \quad (5.11)$$

El poder calorífico del biogás es de 4650 Kcal./ m<sup>3</sup>

Entonces el biogás necesaria para producir 8 Kwh. de energía al día es de:

$$\text{Volumen de biogás} = 45863.8 \text{ Kcal.} / \text{día} ( 1 / 4650 \text{ Kcal.} / \text{m}^3 ) = 9.86 \text{ m}^3 \quad (5.12)$$

Para producir esa cantidad de biogás se necesitan 18 cabezas de ganado aproximadamente.

Existen varios tipos de motores y se ha estado desarrollando tecnología para utilizar el biogás como combustible.



FIG 5.3 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA (CICLO OTTO)

El motor que se muestra en la Fig. anterior dispone de controles de carburación, velocidad y carga electrónicos lo que les permite operar a régimen de emisiones constante ante fluctuaciones de las condiciones de trabajo. El motor se adapta a diferentes calidades de gas, pudiendo pasar de gas natural a biogás sin interrumpir el funcionamiento del motor. Dispone de un módulo computarizado que da lectura al estado de vida de las bujías o permite modificar el avance de encendido a través de señales externas.

## 5.4 GENERADOR ELECTRICO

De manera general, el generador es la maquina que trasforma le energía mecánica que recibe del motor de combustión interna en energía eléctrica. Así como los

motores de combustión interna, los generadores son muy variados, los podemos encontrar de corriente directa, monofásicos, trifásicos, de inducción, etc.

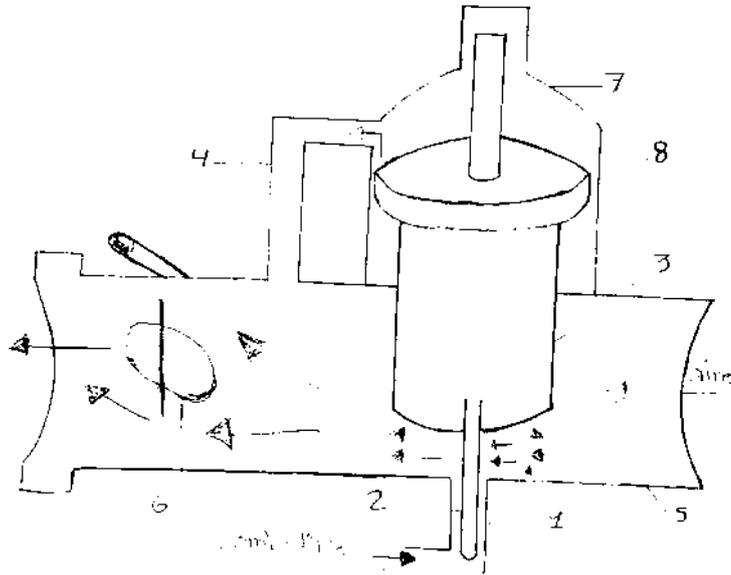
La elección del generador eléctrico es de gran importancia y va a depender de la carga que vallamos a alimentar, la eficiencia del generador, capacidad del generador, costo, etc.

Otros elementos también son importantes e indispensables para el buen funcionamiento del sistema son:

## **5.5 EL CARBURADOR**

Es donde se mezcla el combustible con el aire para llevar la mezcla a los cilindros del motor y llevar a cabo la combustión. El carburador empleado para el biogás se le hacen algunas modificaciones. A continuación le describiremos su funcionamiento en forma general:

El carburador posee un surtidor único (1). Se regulan las variaciones por medio de la aguja cónica (2) que se hunde mas o menos en el surtidor según el levante o empuje del embolo (3). El movimiento de este embolo esta mandado por el conducto (4), que tiene comunicación con el tubo del carburador (5) cerca de la válvula mariposa (6). Al pase del aire por este conducto (4) crea una depresión en el interior de la caperuza (7) la cual levanta el disco accionado por el vacío (8) y con el embolo (3) y la aguja cónica (2).



5.4 ELEMENTOS PRINCIPALES DE UN CARBURADOR

## CAPITULO 6

# PROPUESTA Y ANTECEDENTES

### 6.1 PROPUESTA

El proceso de la fermentación anaeróbica puede ser empleado en muchos casos, por un lado el proceso produce fertilizantes o un abono orgánico, más que un fertilizante es un acondicionador de suelos y en muchos casos se han hecho experimentos para emplearlo como un complemento alimenticio y por el otro tenemos un combustible que es el conocido como biogás. Hay una gran variedad de residuos que pueden aprovecharse, agrícolas, animales, algas que se generan en grandes cantidades en las costas, el lirio acuático por ejemplo que es una plaga en las presas de México y la basura que se está generando todos los días.

Lo que se propone en esta tesis es aprovechar los desechos orgánicos de granjas, empacadoras, ingenios azucareros y de todas las empresas que generan desechos orgánicos contaminantes, para producir energía eléctrica.

En el estado contamos con muy poca industria esto significa que nuestra economía se basa en agricultura ganadería y pesca como se describe a continuación:

### 6.2 AGRICULTURA

En el estado de Michoacán se dedican a cultivos agrícolas es de 1,143,162 hectáreas, de las cuales el 77% en promedio corresponde al ciclo primavera – verano y el restante 33% al ciclo otoño – invierno, (INEGI, 2000). La superficie de temporal en la Entidad representa el 67.61% de la superficie total de terrenos de labor, mientras que la superficie de riego representa únicamente el 11.15% del total. Un importante porcentaje de la agricultura se practica en áreas de riego, que representan alrededor del 30% de la superficie total que se siembra anualmente y/o se encuentra plantada con frutales (Escobar et al, 1996). Las áreas de riego se localizan principalmente en el Valle de Apatzingán, el Bajío Michoacano, la Ciénega de Chapala, el Valle de Zamora, el Valle de Morelia – Queréndaro, Maravatío, Tacámbaro – Turicato, Ciénega de Zacapu

y, Tuxpan. De acuerdo a la superficie sembrada, los principales cultivos son: maíz, sorgo, trigo, frijón, jitomate, pepino, melón, papa, fresa

Así mismo, la superficie dedicada al cultivo de frutales es de 247,910 has, siendo los principales el aguacate, limón, mango, papaya, toronja, guayaba y plátano, (INEGI, 2000).

### **6.3 GANADERÍA**

La ganadería es la segunda actividad de importancia económica en la Entidad, ocupando el 43% del territorio estatal; ello es debido a que la ganadería se basa en sistemas de producción extensivos: para lo cual el pastoreo del ganado se realiza no solo en terrenos desmontados, si no también en las áreas forestales, afectando fuertemente sobre los mismos con el “ramoneo” y el apisonamiento del terreno.

En la producción de aves Michoacán se había venido destacando al ocupar, en años anteriores, el 3er lugar nacional después de los Estados de Jalisco y México, aunque posteriormente cayó al 7° lugar (Escobar, et al, 1996).

El Estado de Michoacán se caracterizó en el pasado por ser un importante productor de carne de cerdo en el ámbito nacional; pero en los últimos años se ha reflejado una disminución significativa de la actividad. Actualmente Michoacán ocupa el 5° lugar a nivel nacional en producción.

La ganadería ovina y caprina tiene un alto potencial natural; pero adolece de buena calidad genética y por lo mismo, de bajos índices productivos y reproductivos; cuestiones que se agravan por el deficiente manejo y poca cultura técnica en la materia.

La avicultura se concentra en la producción de carne, existiendo oportunidad para desarrollar la actividad de producción de huevo.

La ganadería reviste particular importancia en razón del gran potencial para llevar a cabo una cría intensiva regulada y de lata productividad, aunque debido al escaso control sanitario, la falta de promoción para crear unidades productivas apropiadas y la excesiva intermediación, han frenado su desarrollo.

### **6.4 PESCA Y ACUACULTURA**

En la actualidad, y a pesar que la Entidad cuenta con un litoral de más de 210 Km. y 200 millas de zona económica exclusiva, que representan un área 1.4 veces mayor que el territorio estatal, la pesca de especies marinas aporta solamente el 1% del producto interno del sector primario, y genera el 1.5% del producto del subsector

pesquero a nivel nacional. La captura de 1,052 toneladas anuales de especies marinas, que conforman el 4% de la producción pesquera estatal, está constituida por especies como el guachinango, sierra, pargo, ostión, tiburón y cazón. Esta captura se destina tanto al autoconsumo de la población ribereña, como para el abasto del mercado regional (CIDEM, 1999).

## **6.5 EMPRESA UNIPOLLO S.A. DE C.V.**

Las actividades arriba mencionadas generan grandes cantidades de desechos orgánicos a los cuales se les da mal uso, la mayoría de ellos son desechados al medio ambiente generando problemas de contaminación.

En la siguiente figura se muestra una sección de la granja UNIPOLLO S.A. de C.V. esta granja se encuentra en el municipio de Zinapecuaro y se dedica a criar puercos, pollos y bovinos para el consumo de carne.



**FIG 6.1 GRANJA PORCICOLA**

Esta granja cuenta con 500 puercos, 100 toros y 5000 pollos, aproximadamente. Los desechos de los animales son almacenados en diferentes contenedores, dependiendo de su procedencia, los dejan secar y una vez seco se utiliza como fertilizante. En la siguiente imagen se muestra como se almacena el estiércol contaminando el ambiente por los gases que despiden los desechos, el olor es intenso y se extiende por la zona, además de las filtraciones de líquidos que contamina el agua y los insectos que se generan por este.



**FIG. 6.2 DESECHOS DE GRANJA UNIPOLLOS**

Sin duda alguna el mejor aprovechamiento de estos desechos es la generación de biogás, a través de la instalación de biodigestores.

A continuación aremos los cálculos de los costo y compararemos para concluir la conveniencia de utilizar el sistema de biodigestores para la generación eléctrica.

En primer lugar se hizo el estudio del tipo de desechos y la cantidad que se genera diariamente. En total se desechan 150 Kgs de estiércol por día aproximadamente. Por el tipo de estiércol tenemos que 1 Kgs de estiércol produce hasta  $0.50 \text{ m}^3$  de biogas, por lo tanto tendremos lo siguiente:

$$150 \text{ Kg. de estierco/día } (0.50 \text{ m}^3 \text{ biogás/Kgs de estiércol}) = 75 \text{ m}^3 \text{ de biogas/día.}$$

Por otro lado  $1 \text{ m}^3$  de biogas. Puede producir hasta 2.2 Kwh de energía eléctrica, dependiendo de la eficiencia de la maquinaria.

$$75 \text{ m}^3 \text{ biogas/día } (2.2 \text{ Kwh/1 m}^3 \text{ de biogas}) = 165 \text{ Kwh/día.}$$

Basándonos en lo anterior se puede producir 165 Kwh de energía eléctrica diarios comparados con los 144 que se consumen en promedio tendríamos un excedente de 21 Kwh de energía por día o bien  $10 \text{ m}^3$  que pueden ser utilizados para calentar agua, cocinar o para el proceso de producción.

En base a lo anterior concluimos que la granja puede ser autosuficiente para abastecerse de energía eléctrica.

Lo siguiente es seleccionar el tipo de equipo que se instalaría para obtener mejores resultados.

El biodigestor sería el primero en seleccionar ya que es la parte esencial de la instalación. En base a lo que se investigó y que describe en el capítulo 2 utilizaríamos un biodigestor de estructura flexible, ya que es de bajo costo, no requiere instalaciones especiales, requiere un mantenimiento sencillo, es fácil de transportarlo, y puede llegar a durar hasta 20 años. Aquí el problema sería la capacidad limitada de los biodigestores aproximadamente  $20$  a  $30 \text{ m}^3$  por lo que serían necesarios 3 biodigestores para procesar todos los desechos. Los cuales para su instalación se requiere un nicho, este puede ser una zanja con dos registros, uno para alimentar el biodigestor y el otro para liberar los lodos (bio-fertilizante).

Además de los biodigestores se requiere de un reservorio, del mismo material que el biodigestor, para almacenar el biogás generado por los tres biodigestores. Y de esta forma conducirlo hacia los motores de combustión interna. Para conducir el biogás se utilizaría tubo de pvc, ya que es económico y no se daña por los ácidos corrosivos del biogás.

El siguiente paso es seleccionar un motor de combustión interna. Para este caso seleccionaría un motor a gasolina ciclo Otto, ya que se puede sustituir en un 100 % la gasolina por biogás, son motores más económicos en costo y en mantenimiento es menor que en el ciclo diesel.

Para la carga instalada se requiere un motor a gasolina 2.0 con 16 válvulas, este motor desempeña una potencia de 150 HP o 110 Kw a 5000 RPM., por lo que puede mover sin problemas un generador de 55 Kw. Este tipo de motores son relativamente pequeños, por lo general utilizados en autos compactos, y son de uso común por lo que no se tendría problemas con el mantenimiento, ni con su instalación.

Otra parte indispensable es la elección del generador eléctrico, es aquí donde transformamos la energía mecánica del motor de combustión interna en energía eléctrica.

Considerando nuevamente la carga instalada que es de 40 Kw. Hay que seleccionar la capacidad del generador. Considerando obviamente que sea mayor que la carga instalada, y con una capacidad mínima de 20% mayor que la carga instalada para evitar problemas de sobrecarga. Por lo tanto se tendría lo siguiente

$$P_g = P_i (1.2) ; P_g = 40\text{Kw} (1.2) = 48 \text{ Kw}$$

Con este dato se puede seleccionar la capacidad del generador que sería de 55Kw, Ya que es el próximo superior que encontramos en el mercado.

Otro aspecto importante es el nivel de tensión y la frecuencia. El consumo de la granja en general es a 220 y 110 V. A 60 Hz.

Por los datos anteriores requeriríamos un generador con las siguientes características:

Generador eléctrico 55 Kw., de potencia, 220-440 Voltios, KVA 68, KW 55, RPM 1800, fases 3.

Un accesorio necesario es la transmisión, esta es para acoplar el motor con el generador, y de esta manera evitar problemas con la diferencia de velocidad a las que operan ambas máquinas, por lo tanto requeriríamos una transmisión de 2:1 Para mantener nuestro generador a 1800 revoluciones y nuestro motor de combustión interna a 3600 rpm.

Vamos hacer un estudio del costo – beneficio comparando del consumo de energía eléctrica versus la instalación del equipo de biodigestores mas motor generador. La granja tiene una carga instalada de 40 KW. Entre calefactores, alumbrado, molinos, bombas de agua, etc. este consumo CFE (Comisión Federal de Electricidad) lo cataloga como tarifa OM. Y en promedio se consumen 144 Kwh. de energía al día.

En promedio la factura mensual por concepto de energía eléctrica es de \$ 9,935.12 esto nos representa un costo de \$119,221.44 al año por concepto de energía eléctrica.

Por otra parte en la siguiente tabla muestra los costos para la instalación de un biodigestor.

Concepto	Durabilidad	Costo Unitario	Costo Total
Biodigestor	20 años	\$ 3,500,00	\$ 14,000.00
Tubería	10 años	\$ 2,750,00	\$ 2,750.00

Motor de combustión interna	10 años	\$12,300.00	\$12,300.00
Generador eléctrico	10 años	\$19,800.00	\$ 19,800.00
Transmisión	10 años	\$ 3, 181.00	\$ 3,181.00
Carburador modificado	5 años	\$ 2,720.00	\$ 2,720.00
Mano de obra		\$ 15,000.00	\$ 15,000.00
Otros			\$ 15,000.00
Total			\$ 84,751.00

El costo aproximado de la instalación es de \$84,751.00 comparados con los \$119,221.44 que se paga a CFE al año. Con esto podemos observar los beneficios económicos que se obtienen llevando acabo este proceso. La inversión se recupera en menos de un año y la instalación nos permite seguirla explotando por 10 años mas, teniendo únicamente costos de mantenimiento.

El tipo de biodigestor puede variar dependiendo de las necesidades de la empresa así como de los desechos que se manejan. También el equipo varia dependiendo de las capacidad de generación. Pero sin importar si es pequeño o grande los beneficios son buenos tanto económicamente como en el cuidado del medio ambiente.

Por otro lado el lodo que sale del biodigestor se utilizarían para fertilizar y se aprovecharía al 100 % los desechos orgánicos. Este lodo, llamado bio-fertilizante, contiene los mismos nutrientes que los desechos que entran al biodigestor, nitrógeno, magnesio, potasio, fósforo, etc; pero con la diferencia de que se absorben mas rápido debido a que las moléculas del bio-fertilizante son mas simples, de esta manera obtenemos mejores resultados utilizando bio-fertilizante que estiércol.

## **6.6 ANTECEDENTES.**

En el estado de Michoacán se esta evaluando la calidad y cantidad de basura para obtener biogás en el puerto de Lázaro Cárdenas.

El 31 de Octubre del 2006 el periódico la jornada publica la siguiente nota:

En tanto el ayuntamiento autoriza la adquisición de un terreno para levantar una planta recicladora que se supone generara electricidad, la empresa Pro-Liquidez, que

oferto construir la planta con tecnología israelita, trabaja en la evaluación del tipo de basura que se genera en la región, así como el volumen promedio, con lo que se determinara la capacidad de producción de electricidad con base a este nuevo sistema.

Tras recibir tres millones de pesos por parte del Ayuntamiento y del gobierno del estado, la empresa menciona que esta inversión del gobierno se esta destinando para el análisis técnico del tipo y volumen de basura que se genera en la región, para con base en ello, determinar la capacidad de producción de biogás, que a su vez permitirá determinar la capacidad de energía eléctrica que la empresa pretende vender al municipio a un costo 10% por de bajo de a como se paga en Comisión Federal de Electricidad.

Los datos que se tienen es que se producen a diario sobre 250 toneladas de desechos, sin embargo, se requiere un dato lo mas preciso posible, ya que la basura será la materia prima para la generación eléctrica, y sobre todo el tipo de basura y el porcentaje entre desechos húmedos y secos, recordando que el procedimiento que se utilizará es el de separación previa que permite obtener desechos tras un tratamiento de humedecido para elaborar metano, incluso agua residual para riego agrícola y composta orgánica para enriquecer el suelo agrícola.

Unas de las pocas instalaciones que se conocen esta en Erongaricuroao, Mich. Aquí se encuentra instalado un biodigestor de aproximadamente 2m<sup>3</sup>. Esta instalación es domestica y es alimentada con un cerdo (hembra) y cuatro cerdos pequeños, el fermentador es de polietileno cuenta con un registro donde se introduce el efluente y otro registro para recibir el afluyente. La tubería para trasportar el gas es manguera pvc, y cuenta con una trampa de agua (una botella de plástico donde queda el agua condensada), el gas es transportado hasta la estufa donde es utilizado para cocinar los alimentos. Esta instalación es muy sencilla, de bajo costo y el beneficio que se obtiene es enorme ya que el biogás que se genera es suficiente para cocinar los alimentos de la familia.



fig 6.3 proveedores de materia orgánica



fig 6.4 biodigestor casero



fig 6.6 Tubería de biogás.



Fig. 6.6 estufa alimentada con biogas

Por otro lado el bio-fertilizante se utiliza para el abono de hortalizas. En esta comunidad se esta apoyando a la población para que mas familias instalen biodigestores.

## 6.7 GRANJA POZO VERDE COLOMBIA

El trabajo se ha llevado a cabo en la Granja Pozo Verde (llamada anteriormente Arizona), localizada en el municipio de Jamundí, departamento del Valle del Cauca, a 1000 metros sobre el nivel del mar, con temperatura promedio de 24 °C. La granja Pozo Verde se dedica a la producción pecuaria, integrando la producción bovina (leche y carne), porcina y avícola. A continuación se presentan los detalles de las actividades realizadas hasta el momento dentro del proyecto biogás-electricidad.

Para la producción del biogás, se instalaron 2 biodigestores plásticos de 1.25 metros de diámetro y de 14 y 25 metros de longitud. Los biodigestores se colocaron uno a continuación del otro, conectados por medio de una caja de cemento; la capacidad total de ambos es de 48 m<sup>3</sup>.

Los biodigestores se encuentran en la cercanía de las porquerizas de la granja . El estiércol de las cerdas y el agua de lavado de las cocheras son conducidos por gravedad hacia ellos.



### **6.7 Biodigestores en Reserva Natural Pozo Verde**

Cada biodigestor está equipado con un orificio para la salida del biogás. Ambas salidas se unieron por medio de tubería de PVC y a partir de este punto se instaló una tubería de Agro tubo de 1.5 pulgadas de diámetro y 150 m de longitud para conducir el biogás hasta un reservorio localizado en un mezanine situado encima de los motores a utilizar. Como reservorio se instaló una bolsa del mismo material plástico de los biodigestores, de 2.5 m de diámetro y 10 m de longitud, para una capacidad de almacenamiento de 49 m<sup>3</sup>. A partir del reservorio, el biogás es conducido por tubería de Agro tubo hacia los motores. Se realizaron los ajustes necesarios para que el biogás ingrese al interior del filtro de aire, de tal manera que el motor al aspirar el aire que requiere para la combustión del acpm, aspira una mezcla de biogás-aire.

Los trabajos se han llevado a cabo utilizando 2 motores diesel:

- Blackstone, 3 pistones, 100 Kw. de potencia (135HP), 600 r.p.m., acoplado a generador eléctrico de 92 Kw.
- Perkins, 6 pistones, 74 Kw. de potencia (100 HP), 1800 r.p.m., acoplado a generador eléctrico de 63 Kw.

Los resultados obtenidos hasta el momento indican un nivel de sustitución del acpm de 47% para el motor Blackstone y de 67% para el motor Perkins (en otras palabras, el consumo de acpm en el sistema biogás-acpm es de 53% y 33% para los motores Blackstone y Perkins respectivamente, al compararse con el sistema solo-acpm).

La utilización del biogás significa una reducción del 40% en el costo por Kwh. (\$104 vs. 174.4) al compararse con el costo del Kwh. suministrado por la empresa que presta el servicio en la región (EPSA, Empresa de Energía del Pacífico S.A.)

Debe tenerse en cuenta que la capacidad de los biodigestores utilizados para el presente estudio (48 m<sup>3</sup> de capacidad) no es suficiente para generar el gas que se consumirá en 4 horas diarias de trabajo de los motores. En las condiciones aquí consideradas (60% sustitución acpm, 160 Kwh./ día) se requerirá de un biodigestor de aproximadamente 240 m<sup>3</sup> de capacidad.

#### Evaluación económica

En la Tabla 5.1 se presentan los resultados de la evaluación económica de la utilización del biogás en el motor Perkins, considerando un nivel de sustitución del acpm del 60% y 4 horas diarias de generación de electricidad.

<b>Sustitución de acpm por gas</b>	<b>60%</b>	<b>Dólares /EEUU</b>
\$ galón acpm	1,340	1.03
\$ litro acpm	354	0.27
Litros acpm / kWh	0.12	
Costo motor -generador (63 kW)	15,000,000	11,538
Vida útil motor-generador, años	10	
Reparación motor-gen. (cada 3 años)	3,000,000	2,308
Costo reservorio gas (capacidad 120 m3)	1,000,000	769
Vida útil reservorio	6	
Costo tubería conducción gas	400,000	308
Vida útil tubería, años	10	
Mano de obra, horas/ día	0.5	
Horas / año	182.5	

## CAPITULO 7

# VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Como en todos los sistemas siempre se cuentan con pros y contras. Es de esta forma que deducimos la factibilidad y se deja abierto para hacer mejoras en cuanto a las desventajas del sistema. En este capítulo se describirán las principales ventajas de la generación eléctrica por medio del biogás.

### 7.1 VENTAJAS:

El rendimiento interno de un motor, depende del combustible utilizado. El biogás se considera un buen combustible para motores de combustión interna. El CO<sub>2</sub> contenido en el biogás evita que en el motor ocurran sacudidas por detonaciones anticipadas.

En comparación con los motores que utilizan combustibles líquidos, el biogás presenta las siguientes ventajas:

- 1) Los motores operan sin detonaciones previas.
- 2) La mezcla de combustible aire es más homogénea, debido a que ambos son gaseosos.
- 3) Hay ausencia de depósitos de carbono en las culatas, debido a una combustión mas completa.
- 4) Hay menos necesidad de mantenimientos
- 5) Hay menos cantidad de monóxido de carbona en los gases de escape
- 6) Existe una mejor posibilidad de mantener la rotación de marcha lenta, debido a que se quema mas uniformemente la mezcla de biogás / aire en los cilindros.

Esto es en cuanto al funcionamiento del motor. Además de estas ventajas existen muchas ventajas del tipo ecológico y económicas.

- 1) Permite disminuir la tala de los bosques al no ser necesario el uso de leña para cocinar.
- 2) Humaniza el trabajo de los campesinos, que antes deberían buscar leña en lugares cada vez más lejanos
- 3) Diversidad de usos ( alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor y otros)

- 4) Produce bio-fertilizante rico en nitrógeno, fósforo y potasio, capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más caros y dañan el medio ambiente.
- 5) Elimina los desechos orgánicos, por ejemplo, la excreta animal, contaminante del medio ambiente y fuente de enfermedades para el hombre y los animales.
- 6) Mejora la capacidad fertilizante del estiércol. Todos los nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, así como elementos menores son conservados en el afluyente. En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en forma de macromoléculas es convertido en formas más simples como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por las plantas. Debe notarse que en los casos en que el estiércol es secado al medio ambiente, se pierde alrededor de un 50% del nitrógeno.
- 7) El efluente es mucho menos oloroso que el afluyente.
- 8) Control de patógenos. Aunque el nivel de destrucción de patógenos variara de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85 % de los patógenos no sobreviven al proceso de biodigestión. En condiciones de laboratorio, con temperaturas de 35 °C los coliformes fecales fueron reducidos en 50-70% y los hongos en 95% en 24 horas.
- 9) Generación de empleos en el área rural
- 10) Generar electricidad en zonas donde no ha llegado la red eléctrica.
- 11) Con electricidad en zonas rurales ayuda a combatir la marginación y el analfabetismo.

## **7.2 DESVENTAJAS.**

La construcción de biodigestores conlleva a una serie de dificultades técnicas:

- 1) El digestor debe encontrarse cercano a la zona donde se recoge el material orgánico y a la zona de consumo.
- 2) Debe mantenerse a una temperatura constante cercana a los 35 °C. Esto puede hacer costosa la construcción en zonas frías.
- 3) Necesita acumular los desechos orgánicos cerca del biodigestor
- 4) Riesgo de explosión, en caso de no cumplirse las normas de seguridad para los gases combustibles.

Dentro de las desventajas la más importante es la corrosión. La corrosión es el deterioro de los metales, iniciada en su superficie. Si el metal está sometido simultáneamente a esfuerzos mecánicos, pueda actuar conjuntamente el ataque químico y la sollicitación mecánica, produciendo una corrosión especialmente peligrosa.

A pesar de multiplicidad de los fenómenos de corrosión la causa es siempre la misma. El metal que se corroe tiende a formar una combinación química. Sabemos que los materiales sensibles a la corrosión, como el hierro y el aluminio, se encuentran en la naturaleza en forma de combinaciones y solo por el esfuerzo del hombre pasan al estado metálico. Cuando mayor es el trabajo para lograr la transformación, tanto mayor es la tendencia del material a volver a su estado natural.

La corrosión en los motores de combustión interna comprende: La que se produce en las culatas y camisas de los cilindros, y en cilindros y piezas mecánicas durante la vida de los motores.

La impureza principal en el biogás, que se presenta como sustancia corrosiva es el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ). Ciertos gases naturales y derivados del petróleo están exentos de esta inconveniente impureza, pero, a parte de estos, su presencia es universal en los gases combustibles brutos, en cantidades que varían desde un 230 gr/100 m<sup>3</sup>. Sabemos que el biogás contiene azufre en forma de gas sulfhídrico, analizaremos ahora la forma de eliminarlo.

El proceso de oxidación de hierro (Absorción por sólidos) para eliminar el ácido sulfhídrico, como generalmente se conoce, consiste en que el oxido, formado por virutas de hierro oxidadas, limonitas o subproductos del refinado de la bauxita, se mezclan con virutas de madera.

Las virutas de madera ofrecen un elemento mullido que permite el fácil paso del gas y sirven para exponer el oxido a la corriente gaseosa. Un dato que se tiene es que 0.0325 m<sup>3</sup> de oxido consigue remover 3.7 Kg. de azufre.

Existe otro método de purificación del biogás conocido como separación por presión. El principio básico consiste en comprimir el biogás, excediendo la presión parcial crítica de los componentes no deseados, y manteniendo la temperatura arriba de la temperatura crítica del metano, pero por debajo de la que posee las impurezas.

# **CAPITULO 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

## **8.1 CONCLUSIONES.**

En base a las investigaciones realizadas en cuanto al tema de generación eléctrica por medio de biogás. En el estado de Michoacán se cuenta con las características necesarias para llevar a cabo este proceso.

El estado de Michoacán es una de las principales zonas ganaderas del país, esto quiere decir que se cuenta con bastante materia prima (desechos orgánicos) para generar biogás. La gran mayoría de las granjas, establos, criaderos, etc. los desechos son tirados a los ríos, o bien, al aire libre, generando con esto una fuente de infección para los vecinos, sin mencionar el daño que se hace al medio ambiente.

En cuanto al clima la mayor parte del estado cuenta con climas cálidos y templados, esto es un factor importante, ya que, como se menciona en el capítulo 2 el clima es un factor fundamental para la eficiencia del biodigestor.

Otro punto importante es la poca industria que hay en el estado, esto da como resultado un grave problema de desempleo y de migración.

El uso de biodigestores para producir electricidad generaría cientos de empleos directos y otros indirectos, además de investigación y desarrollo tecnológico que se derivaría en base al tema.

Así como existen muchos criaderos también, desafortunadamente, existen mucha gente en zonas donde no hay electricidad, debido a que se encuentran muy alejados de las grandes líneas de distribución y que por su ubicación el costo de electrificar esas pequeñas comunidades sería muy alto. Una opción viable para llevar electricidad a esas comunidades sería por medio de los biodigestores.

## **8.2 CONCLUSIONES GENERALES**

Como conclusión el uso de biodigestores en Michoacán no solo es factible, si no que es necesaria por los aspectos que arriba se mencionan. Además que cuenta con los elementos indispensables para llevar acabo este proyecto:

- Existe suficiente materia orgánica para generar biogás.
- Las condiciones climatológicas para una buena eficiencia de los biodigestores se cumplen en casi todo el estado.
- Existe la necesidad de implementar el sistema.
- El costo del sistema es relativamente bajo comparado con los beneficios que se obtienen.
- Es necesario procesar los desechos orgánicos tanto en las ciudades como en las zonas rurales, ya que los niveles de contaminación alcanzados están devastando nuestro medio ambiente.

## **8.3 CONCLUSIONES PARTICULARES**

De los diferentes tipos de biodigestores que se describen en el capítulo 2 el que más funcionalidad tendría, para el uso domestico o en el caso de granjas, establos o criaderos, es el de estructura flexible por su bajo costo, su fácil transportación, su instalación sencilla, su mantenimiento fácil y económico y su durabilidad (hasta 20 años)

En cuanto al motor de combustión interna la elección dependerá del tipo de instalación, la potencia requerida el acceso a refacciones, soporte técnico para su mantenimiento, y si se cuenta con combustible ( en el caso de motores diesel) Para consumos altos de energía se recomienda motores diesel por su mayor compresión, su eficiencia.

Para el caso de comunidades alejadas se recomiendan motores a gasolina ya que el biogás remplaza en un 100% el combustible (gasolina) y su mantenimiento es más económico.

En cuanto al generador eléctrico, existen de diferentes tamaños, diferentes tipos de eficiencias, factores de potencia, etc. la elección dependerá del tamaño de la carga

que se va a alimentar, la inversión que se tenga destinada para este equipo, ya se sabe que a mayor eficiencia mejores resultados, pero mayor será la inversión.

#### **8.4 TRABAJOS FUTUROS.**

Este tema tiene diversos campos de investigación, tanto química, mecánica, eléctrica, social, cultural, ambiental, etc.

Algunos aspectos interesantes sería la investigación de la materia orgánica, para que tenga mas calorías. Otro campo de investigación sería sobre los filtros para que el biogás sea mas limpio y tenga un mejor poder calorífico.

Por parte del departamento de ingeniería eléctrica la eficiencia en la generación y reducción de costos siempre es un reto y cuanto más se mejore en este aspecto se avanza en todos los niveles de generación.

Por otra parte es necesario estimular el uso de las fuentes alternas de energía y lo mejor sería desarrollar un proyecto y físicamente dar a conocer los beneficios que en todos los ámbitos aportan.

# BIBLIOGRAFÍA

- 1 **Hohlfeld J, Sasse L 1986** Production and utilization of biogas in rural areas of industrialized and developing countries. GTZ. Eschborn, Alemania
- 2 **Marchaim U 1992** Biogas processes for sustainable development. FAO, Agricultural services bulletin 95. Roma
- 3 **Mitzlaff, Klaus von 1988** Engines for biogas. GATE – GTZ. Lengericher Handelsdruckerei, Lengerich, Alemania
- 4 **Muche H, Zimmermann H 1985** La purificación del biogas. GATE – GTZ. Lengericher Handelsdruckerei, Lengerich, Alemania
- 5 **Pedraza Gloria, Becerra Maricel, Conde Natalia, Chará J 1995** Descontaminación productiva de aguas utilizadas en labores domésticas y en sistemas de producción en zonas de montaña. En: Sistemas Pecuarios Sostenibles para las Montañas Tropicales. CIPAV – CENDI. Cali, Colombia.
- 6 **Werner U, Stöhr U, Hees N 1989** Biogas plants in animal husbandry. GATE – GTZ. Lengericher Handelsdruckerei, Lengerich, Alemania
- 7 **Álvarez José M., Luciano Moyano Carlos** Tesis Biomasa y Biogás.
- 8 página WEB de BIOTEC : [www.bio-tec.net](http://www.bio-tec.net)
- 9 **Víctor H Largo Gómez.** Adaptación de electro generadores domésticos a uso de biogás.