



**solinUNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE BIOGAS

# T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTA:  
CARLOS ARTURO PÉREZ PRIEGO

ASESOR: M.E.M. JUAN ALFONSO OAXACA LUNA

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2008



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

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

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE

ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

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

"Producción y distribución de biogas"

que presenta el pasante: Carlos Arturo Pérez Priego  
con número de cuenta: 40104845-0 para obtener el título de :  
Ingeniero Mecánico Electricista

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

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 18 de Enero de 2008

|                  |   |  |
|------------------|---|--|
| PRESIDENTE       | <u>Ing. Juan de la Cruz Hernández Zamudio</u> |  |
| VOCAL            | <u>M.I. José Juan Contreras Espinosa</u>      |  |
| SECRETARIO       | <u>MEM. Juan Alfonso Oaxaca Luna</u>          |  |
| PRIMER SUPLENTE  | <u>Ing. Julio Moisés Sánchez Barrera</u>      |  |
| SEGUNDO SUPLENTE | <u>Ing. Isidoro Vargas Castillo</u>           |  |

AGRADEZCO A MIS PADRES POR HABERME DADO LA VIDA Y LA FORMACIÓN ADECUADA PARA PODER DAR ESTE PASO QUE PASO QUE ME SATISFACE COMO HIJO, COMO HOMBRE Y COMO PERSONA Y TAMBIÉN LES DOY GRACIAS POR ACOMPAÑARME POR ESTE DIFÍCIL CAMINO LLENO DE ALTAS Y BAJAS PERO QUE CON USTEDES LO PUDE LIBRAR.

AGRADEZCO A MIS HERMANOS QUE SIEMPRE ME BRIDARON UN APOYO, AYUDA Y COMPRENSIÓN Y ESTUVIERON Y ESPERO SIGAN ESTANDO SIEMPRE AHÍ CONMIGO.

A TODOS MIS AMIGOS (AS) QUE COINCIDIERON EN TIEMPO Y ESPACIO PARA COMPARTIR Y HACER INFINIDAD DE COSAS.

AGRADEZCO A TODAS LAS PERSONAS QUE SE CRUZARON CONMIGO A LO LARGO DELA CARRERA, Y QUE DIERON POCO DE SI PARA LA FORMACIÓN DE UN NUEVO INGENIERO QUE CIERRA UN CICLO EN SU VIDA COMO ESTUDIANTE.

A TODAS LAS PERSONAS QUE LES QUIERO Y ESTIMO.

GRACIAS!!!!!!!!!!!!

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| AGRADECIMIENTOS                                      | 2  |
| ÍNDICE   | 3  |
| INTRODUCCIÓN   | 6  |
| JUSTIFICACIÓN  | 8  |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA                           | 8  |
| OBJETIVO   | 8  |
| 1. EL BIOGAS   | 9  |
| 1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS                          | 9  |
| 1.2 UTILIZACIÓN DEL BIOGAS                           | 13 |
| 1.3 PRINCIPIOS DE LA COMBUSTIÓN                      | 13 |
| 1.4 DIFERENTES APLICACIONES DEL BIOGAS               | 14 |
| 1.5 COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES DEL BIOGAS             | 17 |
| 1.6 BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA DEL BIOGAS           | 19 |
| 2.-CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR                      | 21 |
| 2.1 PROCEDIMIENTO                                    | 21 |
| 2.21 MATERIALES                                      | 22 |
| 2.22 PROCEDIMIENTO PARA CONSTRUIR LA BOLSA O CAMPANA | 24 |
| 2.3 SALIDA DEL BIOGAS                                | 26 |

|   |    |
|---|----|
| 2.4 LLENADO DE LA BOLSA O CAMPANA CON HUMO O AIRE | 28 |
| 2.5 VÁLVULA DE SEGURIDAD                          | 30 |
| 2.6 LLENADO DE LA BOLSA DEL DIGESTOR CON AGUA     | 31 |
| 2.7 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA DE ESTIÉRCOL Y AGUA  | 32 |
| 2.8 TUBOS CONDUCTORES DEL GAS                     | 33 |
| 2.9 CRITERIO PARA EMPLEO DEL BIOGAS               | 33 |
| 2.10 CÁLCULOS DE DIMENSIONAMIENTO DEL DIGESTOR    | 34 |
| 3. BIOCOMBUSTIBLES                                | 36 |
| 3.1 VENTAJAS                                      | 37 |
| 3.2 FABRICACIÓN                                   | 38 |
| 3.3 PROCESOS INDUSTRIALES                         | 39 |
| 3.4 VENTAJAS MEDIO AMBIENTALES                    | 39 |
| 3.5 VENTAJAS ECONÓMICAS                           | 40 |
| 3.6 VENTAJAS EN SEGURIDAD Y TRANSPORTE            | 41 |
| 3.7 BIOMASA                                       | 41 |
| 3.8 FOTOSÍNTESIS                                  | 42 |
| 3.9 APLICACIONES COMO BIOCOMBUSTIBLE              | 43 |
| 3.10 PRODUCCIÓN ELÉCTRICA                         | 43 |
| 3.11 CALOR Y VAPOR                                | 43 |
| 3.12 GAS COMBUSTIBLE                              | 44 |
| 3.13 VENTAJAS DE LA BIOMASA                       | 44 |

|   |    |
|---|----|
| 3.14 RESTRICCIONES EN USO DE LA BIOMASA   | 45 |
| 3.15 INICIATIVA DE LEY PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES                      | 46 |
| 3.16 APRUEBAN LEY QUE PERMITE LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE EN MÉXICO           | 49 |
| 4. DISEÑO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE BIOGÁS UTILIZANDO RESIDUOS DE GANADO VACUNO | 50 |
| 4.1 DISEÑO PROPUESTO  | 51 |
| 4.2 ESTABLO   | 53 |
| 4.3 TANQUE DE RECOLECCIÓN   | 56 |
| 4.4 CONDUCCIÓN DE LA MEZCLA   | 57 |
| 4.5 DIGESTOR  | 57 |
| 4.6 CONDUCCIÓN DE BIOGÁS  | 59 |
| 4.7 EQUIPO PARA LIMPIEZA DEL BIOGÁS   | 59 |
| 4.8 TANQUE DE EFLUENTE  | 60 |
| 4.9 EQUIPOS QUE UTILIZAN BIOGÁS   | 60 |
| 4.10 INTERCAMBIADOR DE CALOR  | 62 |
| 4.11 CONTROL  | 62 |
| 4.12 PLANTA PILOTO  | 63 |
| RECOMENDACIONES   | 64 |
| CONCLUSIONES  | 65 |
| BIBLIOGRAFÍA  | 66 |

## INTRODUCCIÓN

Desde una perspectiva científica, podemos entender la vida como una compleja serie de transacciones energéticas, en las cuales la energía es transformada de una forma a otra, o transferida de un objeto hacia otro, la energía hace que las cosas sucedan. Si es de día, el Sol nos entrega energía en forma de luz y de calor. Si es de noche, los focos usan energía eléctrica para iluminar. Si ves pasar un auto, piensa que se mueve gracias a la gasolina, un tipo de energía almacenada. Nuestro cuerpo consume alimentos, que tienen energía almacenada. Empleamos esa energía para jugar, estudiar para vivir.

Con las máquinas y las fuentes energéticas sucede lo mismo. El motor de un auto, por ejemplo, transforma la gasolina (que contiene energía química almacenada hace mucho tiempo por seres vivos) en calor. Luego transforma ese calor en, por ejemplo, energía cinética.

Y así muchos ejemplos pueden darse y lo que estamos buscando es partir del biogás crear otras fuentes de energía alternativas que puedan estar al alcance de todos.

Los biodigestores se constituyen en una valiosa alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones a nivel industrial puesto que sus principales beneficios permiten:

- Disminuir la carga contaminante
- Mejorar la capacidad fertilizante de la materia
- Eliminar los malos olores
- Generar un gas combustible denominado biogás el cual tiene diversos usos.

La utilización de biodigestores ofrece grandes ventajas para el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias, pues además la sustitución de combustibles en un porcentaje considerable uso del biogás para la

generación de electricidad da un valor adicional al empleo de biodigestores en las empresas agropecuarias e industriales.

Se llama biogás al gas que se produce mediante un proceso metabólico de descomposición de la materia orgánica sin la presencia del oxígeno del aire. Los materiales que ingresan y abandonan el biodigestor se denominan 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.



## **JUSTIFICACIÓN**

La utilización de biodigestores ofrece grandes ventajas para el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias, pues además de disminuir la carga contaminante de las mismas, extrae gran parte de la energía contenida en el material sin afectar (o inclusive mejorando) su valor fertilizante y controlando de manera considerable los malos olores.

El uso del biogás para la generación de electricidad da un valor adicional al empleo de biodigestores en las empresas agropecuarias. Aunque los resultados económicos no se pueden generalizar pues cambian de acuerdo a las circunstancias de cada lugar, la utilización del biogás en motores diesel para generación de electricidad ha demostrado importantes beneficios económicos además de las ventajas anteriormente mencionadas. Al compararse con los costos actuales de la energía suministrada a través del sistema de interconexión, demostrando la factibilidad de integrar la producción de alimentos y energía de una manera sostenible.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

“Como producir biogás como fuente alternativa de energía en las zonas rurales de México”

## **OBJETIVO**

Mostrar una alternativa a la sustitución de los hidrocarburos como combustibles para la generación y obtención de energía, eléctrica y mecánica a partir de la producción de biogás.

# 1. BIOGAS

## 1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

Las primeras menciones sobre biogás se remontan al año 1600 identificados por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica.

En el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India y ya en 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época. En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff para el tratamiento de aguas cloacales colectivas. El gas producido se utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se lo llegó a inyectar en la red de gas comunal.

Durante los años de la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India que se transforman en líderes en la materia.

Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y recién en la crisis energética de la década del 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos.

Los últimos 20 años han sido fructíferos en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico gracias al nuevo material de laboratorio que permitió el estudio de los microorganismos que actúan en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno).

Estos progresos en la comprensión del proceso microbiológico han estado acompañados por importantes logros de la investigación aplicada obteniéndose grandes avances en el campo tecnológico.

Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania.

A lo largo de los años transcurridos, la tecnología de la digestión anaeróbica se fue especializando abarcando actualmente muy diferentes campos de aplicación con objetivos muy diferentes.

Las plantas de tratamiento de desechos industriales, han tenido una importante evolución en los últimos años y habiendo superado una primera etapa a nivel piloto, en Europa y China se encuentran actualmente siendo difundidas para determinados fines en combinación con tratamientos aeróbicos convencionales.

Estos reactores anaeróbicos son de enormes dimensiones (más de 1.000 m<sup>3</sup> de capacidad), trabajan a temperaturas mesofílicas (20°C a 40°C), o termofílicas (más de 40°C) poseen sofisticados sistemas de control y están generalmente conectados a equipos de cogeneración que brindan como productos finales; calor, electricidad y un efluente sólido de alto contenido proteico, para usarse como fertilizante o alimento de animales.

A nivel latinoamericano, se ha desarrollado tecnología propia en la Argentina para el tratamiento de vinazas, residuo de la industrialización de la caña de azúcar. En Brasil y Colombia se encuentran utilizando sistemas europeos bajo licencia.

El número de reactores de este tipo aún no es importante en el mundo (ej.: 130 en la Comunidad Económica Europea) pero los continuos descubrimientos, reducciones de costos y mejoramiento de la confiabilidad hacen suponer un amplio campo de desarrollo en el futuro.

La aplicación del biogás en el área rural ha sido muy importante dentro de ella se pueden diferenciar dos campos claramente distintos. En el primero, el objetivo

buscado es dar energía, sanidad y fertilizantes orgánicos a los agricultores de zonas marginales o al productor medio de los países con sectores rurales de muy bajos ingresos y difícil acceso a las fuentes convencionales de energía.

En este caso la tecnología desarrollada ha buscado lograr digestores de mínimo costo y mantenimiento fáciles de operar pero con eficiencias pobres y bajos niveles de producción de energía.

El segundo tipo de tecnología está dirigido al sector agrícola y agroindustrial de ingresos medios y altos. El objetivo buscado en este caso es brindar energía y solucionar graves problemas de contaminación. Los digestores de alta eficiencia desarrollados para esta aplicación tienen un mayor costo inicial y poseen sistemas que hacen más complejo su manejo y mantenimiento.

Ambos tipos de digestores se encuentran hoy día en continua difusión. Los reactores sencillos han tenido una amplia aceptación en China, India, Filipinas y Brasil; debido a que en estos países se ejecutaron importantes planes gubernamentales que impulsaron y apoyaron con asistencia técnica y financiera su empleo. En el resto de los países del mundo la difusión alcanzada por este tipo de digestores no ha sido significativa

Con respecto a los digestores de alta eficiencia la mayoría se encuentran instalados en Europa (se estima un total de 500 digestores en los países de la CEE.); en el resto del mundo no se ha superado aún la etapa de unidades demostrativas o emprendimientos particulares aislados.

El tratamiento de líquidos cloacales mediante sistemas anaeróbicos solos o combinados con tratamientos aeróbicos es una técnica muy difundida en todo el mundo desde hace más de 40 años. Para tener una idea de su importancia el gas generado por esta técnica en Europa alcanzaba en el año 1975 un total de casi 240 millones de m<sup>3</sup> anuales de biogás.

Recientes progresos en equipos de cogeneración han permitido una más eficiente utilización del gas generado y los continuos avances en las técnicas de fermentación aseguran un sostenido desarrollo en este campo.

Debe tenerse en cuenta que la incorporación de esta tecnología obliga a una estricta regulación en cuanto a tipo de productos que se vierten en los sistemas cloacales urbanos; por este motivo en algunos países donde los desechos industriales son vertidos sin tratar en las cloacas los reactores anaeróbicos han tenido graves problemas de funcionamiento y en muchos casos han sido abandonados.

El relleno sanitario, práctica muy difundida en el mundo para eliminar las enormes cantidades de desperdicios generados en las grandes ciudades han evolucionado incluyendo hoy en día modernas técnicas de extracción y purificación del gas metano generado el cual en décadas pasadas generaba graves problemas, entre los cuales figuraba el ambiental, por muerte de la vegetación que se encontraba en las zonas cercanas, malos olores que molestaban a los residentes y explosivas mezclas de gases que se acumulaban en los sótanos de la vecindad.

El avance de esta técnica ha permitido que importantes ciudades del mundo, como es el caso de Santiago de Chile en América Latina, incluya un importante porcentaje de gas procedente de esta fuente en la red de distribución urbana de gas natural.

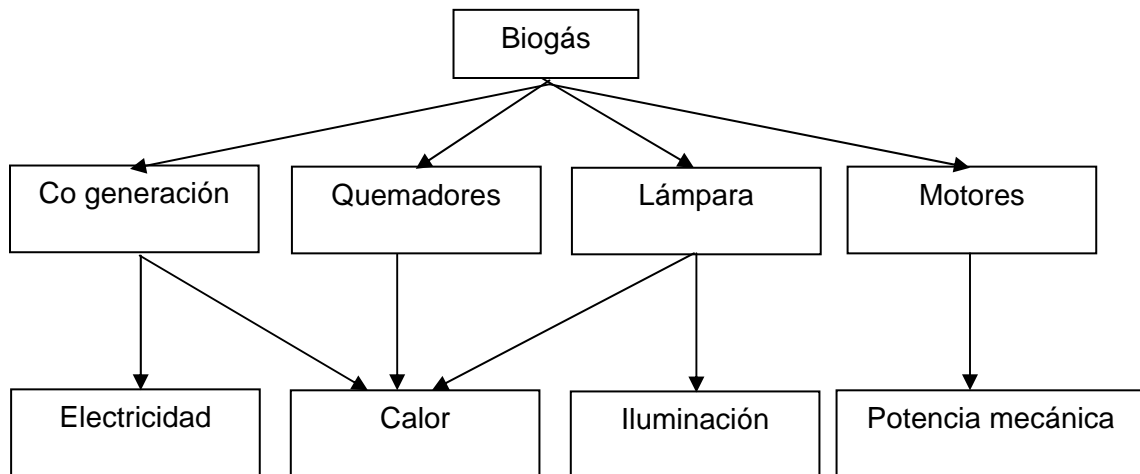
Todos los campos de aplicación analizados muestran que la tecnología bajo estudio se encuentra en una franca etapa de perfeccionamiento y difusión.

Las causas que motivarán y regularan su futura expansión se encuentran centradas en dos aspectos críticos del futuro como son la energía y la contaminación.

## 1.2 UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS.

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.

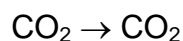
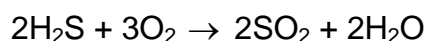
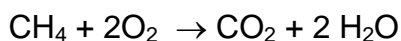
Esquema 1.



En el diagrama se muestran algunas posibles formas en que se puede aprovechar el biogás para sus aplicaciones más comunes y vemos como se va transformando la energía a partir del biocombustible.

## 1.3 PRINCIPIOS DE LA COMBUSTIÓN.

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 es 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).

#### **1.4 DIFERENTES APLICACIONES DEL BIOGÁS.**

En la siguiente tabla se listan los principales artefactos que utilizan biogás juntamente a su consumo medio y su eficiencia.

Tabla 1

| ARTEFACTO                | CONSUMO                        | RENDIMIENTO (%) |
|--------------------------|--------------------------------|-----------------|
| Quemador de cocina       | 300 - 600 l/h                  | 50 - 60         |
| Lámpara a mantilla (60W) | 120 - 170 l/h                  | 30 - 50         |
| Heladera de 100 L        | -30 - 75 l/h                   | 20 - 30         |
| Motor a gas              | 0,5 m <sup>3</sup> /kwh o hp.h | 25 - 30         |
| Quemador de 10 Kw        | 2 m <sup>3</sup> /h            | 80 - 90         |
| Infrarrojo de 200 W      | 30 l/h                         | 95 - 99         |

Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, agrandando el paso del gas de los quemadores. La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace promisorio e interesante su utilización a gran escala.

Las lámparas a gas tienen una muy baja eficiencia y el ambiente donde se les utilice debe estar adecuadamente ventilado para disipar el calor que generan.

Las heladeras domésticas constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogás debido a que tienen un consumo parejo y distribuido a lo largo de las 24 horas del día lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas. Estos equipos funcionan bajo el principio de la absorción (generalmente de ciclo amoníaco refrigerante - agua absorbente). Recientemente se han desarrollado equipos para el enfriamiento de leche y/u otros productos agrícolas lo que abre un importante campo de aplicación directa y rentable del mismo.



Los quemadores infrarrojos comúnmente utilizados en la calefacción de ambientes (especialmente en criadores y parideras) presentan como ventaja su alta eficiencia lo cual minimiza el consumo de gas para un determinado requerimiento térmico.

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diesel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido.

En los motores de Ciclo Otto el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100% de biogás con una merma de la potencia máxima del 20% al 30%.

A los motores de Ciclo Diesel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control manteniendo el sistema de inyección convencional. De esta manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogás diesel y pueden convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro lo cual los hace muy confiables. El gasoil no puede ser reemplazado en los motores funcionando a campo del 85% al 90%, debido a que la autonomía conseguida menor comparada con la original.

La proporción de  $H_2S$  en el biogás causa deterioros en las válvulas de admisión y de escape de determinados motores obligando a un cambio más frecuente de los aceites lubricantes. El grado de deterioro en los motores varía considerablemente y los resultados obtenidos experimentalmente suelen ser contradictorios.

Los motores a biogás tienen amplio espectro de aplicación siendo los más usuales el bombeo de agua, el picado de raciones y el funcionamiento de ordeñadoras en el área rural. El otro uso muy generalizado es su empleo para activar generadores de electricidad.

La difusión de estos sistemas estará condicionada por la rentabilidad final. Sin embargo representa la utilización más racional del biogás ya que se obtiene una forma de energía extremadamente dúctil como la electricidad al mismo tiempo que una fuente de calor muy necesaria para la calefacción de digestores en zonas frías.

El uso vehicular del biogás es posible y en la realidad se ha empleado desde hace bastante tiempo. Sin embargo su difusión está limitada por una serie de problemas:

- A fin de permitir una autonomía razonable el gas por su volumen debe ser almacenado en contenedores cilíndricos de alta presión (200 a 300 bar.); este tipo de almacenamiento implica que el mismo deba ser purificado antes de su compresión.
- La conversión de los motores es cara (instalación similar a la del GNC) y el peso de los cilindros disminuye la capacidad de carga de los vehículos.
- Por último la falta de una adecuada red de abastecimiento y la energía involucrada en la compresión a gran escala de este tipo de uso.

### **1.5 COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES DEL BIOGÁS.**

Se llama biogás a la mezcla constituida por metano  $\text{CH}_4$  en una proporción que oscila entre un 50% a un 70% y dióxido de carbono conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. Sus características han sido resumidas en la siguiente tabla.

Tabla 2

| <b>CARACTERISTICAS</b>             | <b>CH<sub>4</sub></b> | <b>CO<sub>2</sub></b> | <b>H<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S</b> | <b>OTROS</b> | <b>BIOGAS<br/>60/40</b> |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------|-------------------------|
| Proporciones %                     | 55-70                 | 27-44                 | 1                                   | 3            | 100                     |
| Volumen                            |                       |                       |                                     |              |                         |
| Valor Calórico MJ/m <sup>3</sup>   | 35.8                  | -                     | 10.8                                | 22           | 21.5                    |
| Valor Calórico kCal/m <sup>3</sup> | 8600                  | -                     | 2581                                | 5258         | 5140                    |
| Ignición % en aire                 | 5 -15                 | -                     | -                                   | -            | 6 -12                   |
| Temp. ignición en °C               | 650 -750              | -                     | -                                   | -            | 650 -750                |
| Presión crítica en Mpa             | 4.7                   | 7.5                   | 1.2                                 | 8.9          | 7.5 - 8.9               |
| g/l                                | 0.7                   | 1.9                   | 0.08                                | -            | 1.2                     |
| Densidad relativa                  | 0.55                  | 2.5                   | 0.07                                | 1.2          | 0.83                    |
| Inflamabilidad Vol. en % aire      | 5 -15                 | -                     | -                                   | -            | 6 -12                   |

Como se observa el aporte calórico fundamental lo ofrece el metano cuyo peso específico es de alrededor de 1 kg/m<sup>3</sup>. Si deseamos mejorar el valor calórico del biogás debemos limpiarlo de CO<sub>2</sub>. De esta forma se logra obtener metano al 95 %. El valor calórico del metano puede llegar hasta 8260 Kcal/m<sup>2</sup> con una combustión limpia (sin humo) y casi no contamina. El uso del biogás en motores de combustión interna permite que se soporten altas compresiones sin detonaciones.

## 1.6 BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA DEL BIOGÁS.

Los beneficios directos de esta tecnología son:

- Producción energética económica, dando por resultado ahorro de dinero.
- Mejora del sistema de cultivo reciclando el abono con biodigestores para producir el gas para cocinar y efluente para el biofertilizante.
- Una reducción de la carga de trabajo física especialmente de las mujeres y los niños.
- Una reducción de la presión en los recursos naturales como leña y carbón vegetal, con mucha humedad en la zona.
- Todo esto haciendo uso de los residuos que causarían de otra manera la contaminación, especialmente en áreas urbanas.
- Coadyuvando a la salud de la población beneficiaria con la instalación de letrinas ecológicas conectadas a los sistemas de biodigestión.
- Mejorando la eficiencia energética de las cocinas tradicionales, respetando el tradicional uso de esta forma de cocinar, sobre todo en área rural.
- La utilización de los biodigestores y letrinas conectadas en serie además de permitir la producción de biogás ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos.
- Mejora la capacidad fertilizante del estiércol. Todos los nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio así como los elementos menores son conservados en el efluente. En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en forma de macromoléculas es convertido a formas más simples como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta. Debe notarse que en los casos en que el estiércol es secado al medio ambiente, se pierde alrededor de un 50% del nitrógeno.

- El efluente es mucho menos oloroso que el afluente.
- Control de patógenos. Aunque el nivel de destrucción de patógenos variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85% de los patógenos no sobreviven el proceso de biodigestión.
- Produce aproximadamente de 4 a 5 horas de gas diario.
- No genera humo,
- Tampoco ensucia los utensilios y es incoloro cuando se prende.
- Los restos de la materia orgánica se pueden incorporar o utilizar como abono.

Se estima que este modelo debería durar como mínimo 10 a 12 años si se toman todas las medidas de seguridad, especialmente la bolsa de polietileno que es el material más delicado del sistema.

Su costo es económico, Se deberá tener en cuenta la preparación de la fosa y el servicio profesional que instale el sistema.

## II. CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR.

### 2.1 PROCEDIMIENTO.

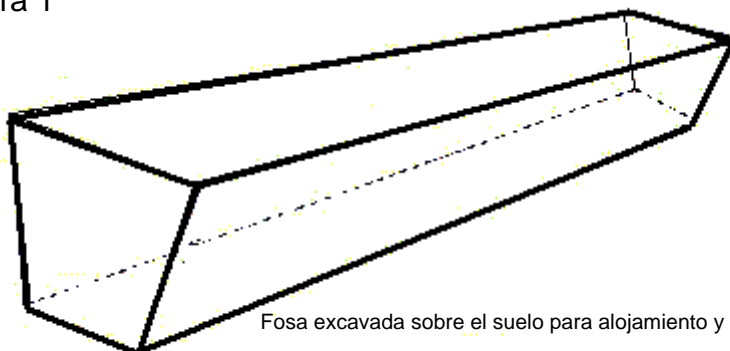
Para su construcción se realizan los siguientes pasos:

Ubicación del biodigestor.

- Se debe establecer un sitio cercano a la porqueriza o establo, para llevar hasta el biodigestor, por un canal, el estiércol disuelto en el agua de lavado.
- Fosa del Biodigestor.
- Haga una fosa con el fondo completamente a nivel, lo más lisa posible, de 7 metros de largo, 70 centímetros de ancho en su parte superior, 70 centímetros de profundidad y 64 centímetros de ancho en el piso.

Como se muestra un la figura 1

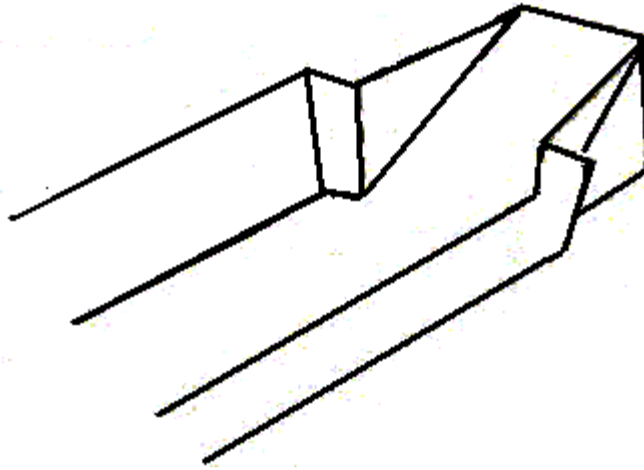
Figura 1



- En cada extremo de la fosa y en el centro de cada pared haga 2 zanjitas de 1 a 1.25 metros de largo, 30 a 40 centímetros de ancho, para colocar los tubos terminales o canecas que serán la entrada y salida del biodigestor.

Como se muestra en la figura 2.

FIGURA 2



Excavación en los extremos y las paredes de los extremos de la fosa para el alojamiento ajustado de las canecas o los tubos colocados en cada extremo de la bolsa del biodigestor.

## 2.21 MATERIALES:

Para su fabricación se requiere de los siguientes materiales:

- 22 metros de tubular en polietileno transparente, calibre 6 (calibre dado comercialmente en décimas de pulgada), de 1.25 metros de ancho 2.5 metros de circunferencia.
- 11 metros de lámina en plástico "cristal", vinilo o polivinilo o transparente, calibre 6, de 1.5 metros de ancho.
- 4 canecas circulares plásticas usadas, con capacidad para 5 ó 15 galones, a las cuales se le quitan completamente las tapas superior e inferior, quedando a manera de tubos, o en su remplazo 2 tubos en concreto o en gres de 12 pulgadas de diámetro por un metro de longitud.
- 3 metros de manguera flexible en polietileno transparente, de una pulgada de diámetro.
- 1 macho en P.V.C., de media pulgada de diámetro.
- 1 macho en P.V.C., de una pulgada de diámetro.

- 1 hembra en P.V.C., de una pulgada de diámetro.
- 1 te en P.V.C., de una pulgada de diámetro.
- 2 reducciones no roscadas o bujes, en P.V.C., de una media pulgada de diámetro.
- 50 centímetros de tubería gris de presión en P.V.C., de una pulgada de diámetro.
- Tubería Conduit (tubería comercial en pvc, utilizada para conducción de redes eléctricas) en P.V.C.; o en su remplazo manguera negra en polietileno, de una pulgada de diámetro, en longitud suficiente para llegar desde el sitio del biodigestor hasta el quemador.
- 1 frasco de limpiador y uno de pegante soldadura para P.V.C.
- 50 centímetros de tubería galvanizada de media pulgada de diámetro, rosca en ambos extremos.
- 1 codo en tubería galvanizada, de media pulgada de diámetro.
- 1 llave de paso en bronce de media pulgada.
- 2 abrazaderas metálicas con capacidad para dos pulgadas.
- 1 frasco de 50 gramos de pegante "solución" Boxer o AXW.
- 2 arandelas, preferiblemente en acrílico, fibra de vidrio, material sintético firme o en último caso metálicas, cuyo agujero central permita el ingreso en toda su longitud de la rosca del macho en; pvc, su diámetro total debe ser mayor de 10 centímetros y su grosor individual inferior a 4 milímetros.
- 1 lápiz marcador de tinta en color oscuro, un marcador indeleble industrial a gasolina o un lápiz vidriogaf.
- 1 frasco en plástico transparente, sin tapa, de un galón de capacidad.

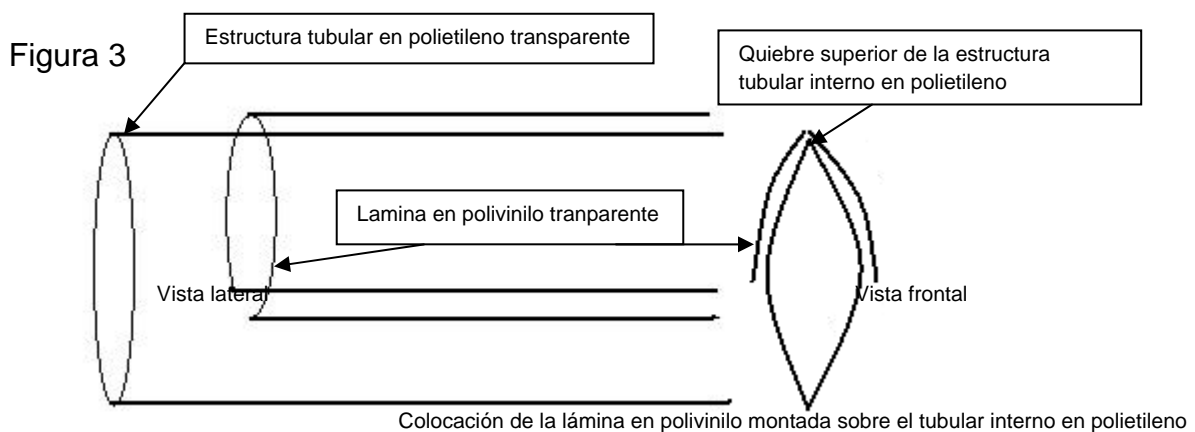


- 2 empaques en neumático usado de 20 X 20 centímetros, en forma de ruana, ambos con un hueco central de una pulgada que permita la entrada ajustada de la rosca del macho en pvc.
- 5 correas en neumático usado, de aproximadamente 5 centímetros de ancho por dos metros de largo.
- 8 empaques usados, en polipropileno.

## 2.22 PROCEDIMIENTO PARA CONSTRUIR LA BOLSA O CAMPANA

- Escoja un lugar amplio, seco, de piso firme, sin piedras, como un corredor o ramada cubierta, para trabajar cómodamente.
- Corte por la mitad el polietileno tubular de 22 metros de largo, para que le queden 2 tubos de 11 metros de largo cada uno.
- Marque con un lápiz de tinta oscura, a todo su largo, el borde de uno de los tubulares.
- Doble a lo largo la lámina de polivinilo, en dos partes iguales; con el lápiz de tinta oscura marque a todo lo largo el borde del doblez.
- Coloque a caballo la lámina de polivinilo doblada sobre el tubular de polietileno.

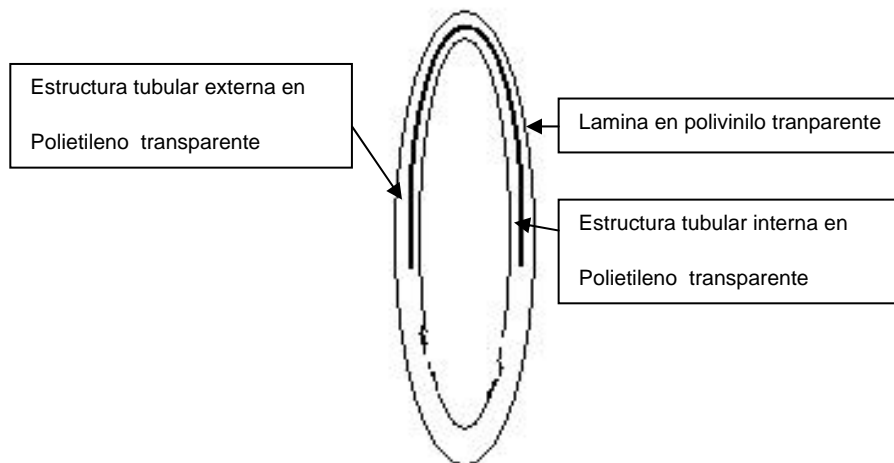
Como se muestra en la figura 3.



- De 11 metros que usted marcó a todo lo largo, haciendo coincidir las dos rayas trazadas.
- Con la mano elimine todas las arrugas y empiece a doblar o a enrollar de punta a punta.
- Extienda sobre el suelo el otro tubular de polietileno de 11 metros de largo.
- Con la ayuda de una persona descalza, quien pasará metiéndose de un lado a otro del tubular extendido en el suelo, introduzca una de las puntas del tubo doblado; de esta manera la hoja de polivinilo quedará metida entre los dos tubos de polietileno.
- Elimine con las manos las arrugas formadas durante este proceso, buscando que la lámina de polivinilo quede bien repartida a los lados, haciendo coincidir las rayas en el quiebre superior del tubular sobre el cual va "montada a caballo".

Como se muestra en la figura 4.

Figura 4



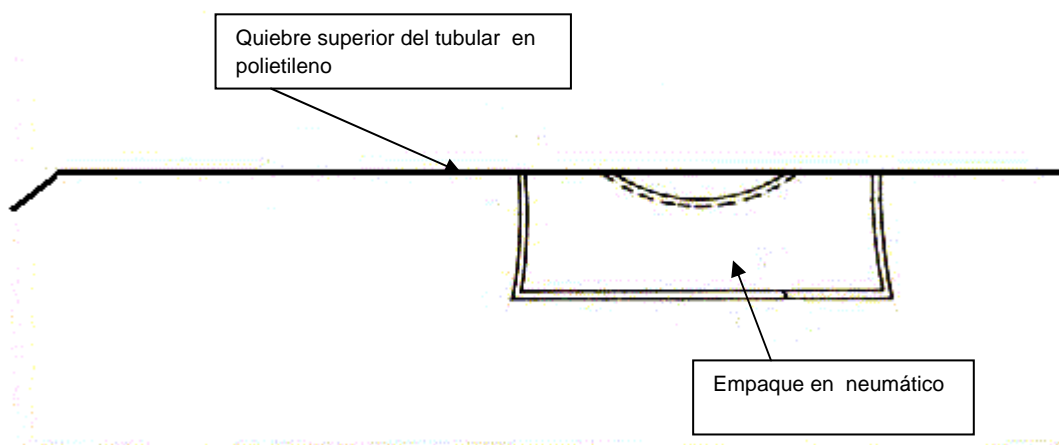
Visualización de los tubulares interno y externo y la lámina de polivinilo empacada

### 2.3 SALIDA DEL BIOGÁS.

- Tome un primer parche o empaque de neumático 20 X 20 centímetros.
- Hágale un hueco o ranura en el centro, de 2.54 centímetros de largo.
- Pegue el parche con solución, a 4 metros de cualquiera de los extremos, previo secado y limpieza de la bolsa y el parche o empaque de neumático sobre el quiebre superior de la bolsa y centrado sobre las rayas que se trazaron.

Como en la figura 5.

Figura 5.

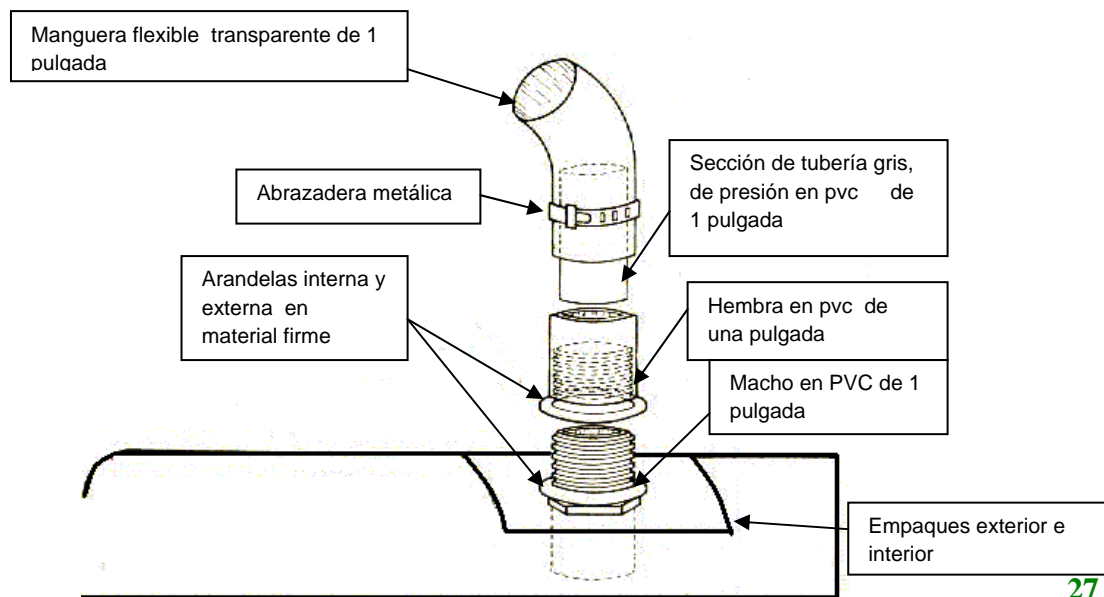


Localización de un empaque en neumático sobre la bolsa

- Déjelo secar...
- Introduzca el brazo por la abertura de la bolsa o campana.
- Localice con la mano el parche o empaque de neumático y presionando con el dedo índice las tres láminas a través del hueco o ranura, procesa de la siguiente manera:
- Corte las tres capas con ayuda de una cuchilla.

- Desde adentro y hacia afuera pase la rosca del macho de P.V.C. de una pulgada, a la cual se le ha insertado previamente la arandela en acrílico o fibra de vidrio o pasta dura y posteriormente el segundo empaque de neumático o parche de 20 X 20 centímetros, con ranura de 2.4 centímetros de largo.
- Una vez pasada la rosca al exterior de la bolsa y después de atravesar el agujero central del empaque externo de neumático, inserte la segunda arandela de acrílico o de fibra de vidrio o de pasta dura y procesa a enroscar la hembra sobre la rosca del macho en P.V.C. de una pulgada.
- Con una tela seca y limpia aplique el limpiador de P.V.C. a la parte interna del acople de la hembra sin rosca y después unte el pegante para P.V.C. con el fin de agregar 25 cm. de tubería transparente de P.V.C. de una pulgada.
- Introduzca a presión uno de los extremos de la manguera flexible transparente de vinilo de una pulgada de diámetro.
- Coloque al empate una abrazadera metálica para dar mayor seguridad y apriétela con cuidado.

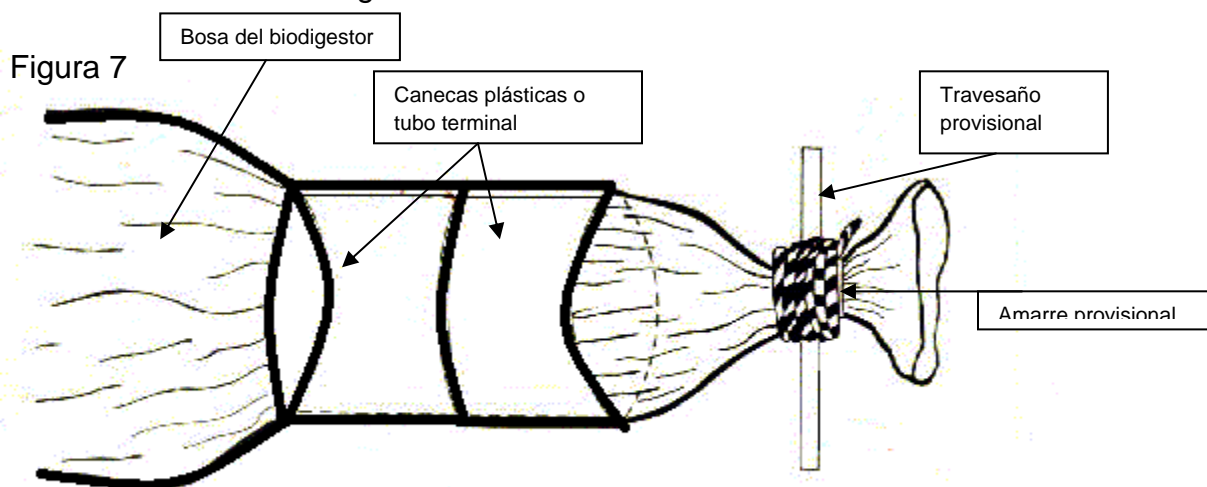
Figura 6.



## 2.4 LLENADO DE LA BOLSA O CAMPANA CON HUMO O AIRE.

- Coloque la bolsa o campana cerca de un motor de explosión o de vehículo campero o motocicleta, para facilitar el inflado o llenado de la bolsa o biodigestor con el humo de la combustión del motor.
- Extienda bien la bolsa o biodigestor en un sitio limpio.
- Doble cada extremo, amárrelo con una correa de neumático y meta cada punta a través de dos canecas plásticas que harán las veces de tubo de concreto.
- Deje por lo menos 50 centímetros libres después de los bordes de las canecas de las puntas.
- Recubra los bordes con empaques de polipropileno, con el fin de evitar la ruptura de la bolsa.
- Amarre provisionalmente con una correa de neumático cada punta de la bolsa.

Como se muestra en la figura 7.



Introducción definitiva y amarre temporal de cada extremo de la bolsa dentro de las canecas o tubos terminales

- Para inflar la bolsa o biodigestor, tome el extremo libre de la manguera flexible de vinilo transparente de una pulgada de diámetro, agréguele 50 centímetros de tubería galvanizada de media pulgada de diámetro, utilizando correas de neumático enrolladas fuertemente.
- Introdúzcale 20 a 25 centímetros de un tubo galvanizado de 60 centímetros de largo y media pulgada de diámetro.
- Para inflar la bolsa o biodigestor prenda el motor el tiempo necesario para llenarla completamente.
- Amárrelo bien con una correa de neumático.
- La otra punta del tubo galvanizado introdúzcala en el escape del motor.
- Evite la salida del humo enrollando muy bien una correa de neumático.
- Si se presenta salidas de humo en la bolsa o biodigestor, las cuales se pueden notar por su color u olor, séllelas utilizando partes de neumáticos pegados con solución, antes de colocar la bolsa en la fosa del biodigestor.
- Para evitar que se derrita la manguera de polietileno, mójela continuamente en agua fría, durante el llenado con humo del motor.
- Si usted no tiene un motor, trate de llenar la bolsa con la ayuda de varias personas, así:
- Levántela y abra alguno de los extremos y muévase en sentido contrario a la dirección del viento.
- La bolsa o biodigestor se llena con humo o gas para facilitar y quitar las arrugas antes de colocarla en la fosa del biodigestor.
- Antes de colocar la bolsa o campana en la fosa del biodigestor, fíjese que la salida del biogás quede lo más cerca posible a la cocina o fogón.

- Coloque la bolsa o campana dentro de la fosa, cuidado que las canecas queden bien situadas en los huecos de los extremos de la fosa.

## **2.5 VÁLVULA DE SEGURIDAD.**

- Evite que se rompa la bolsa o campana cuando haya mucho gas por demasiada producción o bajo consumo.
- Para construir la válvula de seguridad, proceda de la siguiente manera:
- Utilice un frasco de plástico transparente de un galón de capacidad, sin tapa.
- Tome una T en P.V.C. de una pulgada.
- Pegue al extremo de la mitad de la T una reducción de P.V.C. de una a media pulgada.
- Agregue un tubo gris de 25 cm. de P.V.C. de media pulgada.
- Al frasco de plástico hágale una ventana en su parte superior, para agregarle agua cuando falte.
- También hágale huecos en la mitad de su altura para mantener el nivel del agua aún en época de lluvia.
- Introduzca el tubo de 25 cm. de largo en el frasco de plástico, de tal manera que penetre en el agua por lo menos tres centímetros. Así cuando haya exceso de producción de gas, éste sale a manera de burbujas.
- Los otros dos extremos superiores de la T son los tubos de entrada de biogás proveniente de la bolsa o biodigestor y el otro es la salida en dirección hacia el quemador o fogón.
- De la punta de la T que va a la bolsa, pegue un tubo de P.V.C. de una pulgada, de 25 centímetros de largo, al cual debe unirse el extremo libre de

la manguera flexible y transparente que viene desde la bolsa o campana, con la ayuda de una abrazadera metálica de dos pulgadas y después de haberle quitado la tubería galvanizada cuando haya utilizado el humo del motor.

- Al lado de la fosa clave un estacón o poste que tenga por lo menos 1.50 metros de altura sobre el nivel del suelo.
- Fije al estacón y en su extremo superior, amarrado muy bien con la ayuda de una correa de neumático, la válvula de seguridad o frasco de plástico transparente de un galón.
- Recuerde que el tubo pegado a la T permanece sumergido en el agua por lo menos 3 cm, para facilitar la salida del gas sobrante y evitar que se rompa la bolsa o campana.

## **2.6 LLENADO DE LA BOLSA DEL BIODIGESTOR CON AGUA.**

- El primer llenado de la bolsa puede hacerse con agua sola o con agua a la que se haya agregado estiércol de los distintos animales.
- Recuerde que la bolsa debe quedar sin arrugas antes de iniciar el llenado y la raya que se trazó en la lámina de polivinilo debe verse en la mitad de la fosa.
- La válvula de seguridad debe estar conectada a la salida del biodigestor.
- Con un taco de madera envuelto en plástico, tape o selle la salida de la válvula de seguridad que va hacia el quemador.
- Meta una o dos mangueras por una de las puntas de la bolsa para llevar el agua hasta ella, cuidado de amarrarlas otra vez para evitar que se escape el gas; este saldrá lentamente por la válvula de seguridad a medida que se va llenando con el agua o la mezcla de agua y estiércol.
- Así se evita que la bolsa o campana del biodigestor se rompa.



- Llene la bolsa hasta el 75 % de su capacidad, la cual se alcanza cuando el agua llega hasta el borde inferior de las canecas o codos de la salida y entrada del biodigestor.
- Quite las correas de neumáticos y las mangueras.
- Doble muy bien los 50 centímetros sobrantes en cada extremo de la bolsa de polietileno hacia afuera.
- Amarre bien alrededor de las canecas de salida y entrada de la bolsa con correas de neumático.
- Acomode las canecas o tubos en las zanjas de los extremos de la fosa.
- Deje la punta de la fosa donde está la salida del biogás para la salida del efluente o lodo.
- Para facilitar la salida del efluente o abono, haga una zanja con un buen desnivele.
- Localice al final de la zanja un hueco o tanque cuadrado de un metro por 60 centímetros de profundidad, para recoger el efluente que le servirá como abono.
- Aproveche el lavado de su porqueriza, haciendo una zanja o desagüe para que llegue más fácil la mezcla de agua y estiércol a la bolsa o biodigestor.
- Deje en uno de los lados de la zanja una salida o desviación que evite la entrada de sobrantes de la lavada de la porqueriza al biodigestor, colocando una tabla o trampa que impida su paso.

## **2.7 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA DE ESTIÉRCOL Y AGUA.**

Para cargar la bolsa o campana del biodigestor, todos los días coja un balde lleno de estiércol fresco y mézclelo con cuatro de agua. Con el tiempo y con un poco de práctica usted podrá calcular esta cantidad cuando lave la porqueriza.

## **2.8 TUBOS CONDUCTORES DE GAS.**

- Retire el taco de madera envuelto en plástico.
- Pegue a la punta de la T de la válvula de seguridad un pedazo de tubería gris de P.V.C. de presión, de 15 a 20 centímetros de largo y de una pulgada de diámetro.
- Con la ayuda de una abrazadera metálica de dos pulgadas agregue una manguera negra flexible de una pulgada de diámetro, para llevar el gas hasta el quemador del fogón.
- Si la cocina está a una distancia mayor de 20 metros entre la bolsa o campana y el quemador, use manguera de más diámetro para que pase o llegue más rápido el gas.

## **2.9 CRITERIOS PARA EL EMPLEO DEL BIOGÁS.**

Para la elección del diseño se tomó en cuenta:

- a) Inversión que se está dispuesto a realizar.
- b) Energía que se quiere obtener.
- c) Los materiales con que se cuenta (biomasa).
- d) El tamaño del digestor.
- e) Las características del lugar en cuanto a profundidad del manto freático.
- f) La simplicidad que se quiere lograr en el manejo.
- g) Uso del efluente del biodigestor.
- h) Temperaturas medias del lugar donde se instalará.

## 2.10 CÁLCULOS DE DIMENSIONAMIENTO DEL DIGESTOR.

Para el dimensionamiento del digester se partió de la cantidad de gas que se quiere lograr del digester diariamente. Con este dato se dimensiona el digester para una determinada temperatura de funcionamiento, calculándose la cantidad de material a introducir por día y verificando con posterioridad si alcanza la biomasa disponible. Para el diseño de la planta de biogás se tuvieron en cuenta algunas consideraciones desde el punto de vista tecnológico constructivo, para garantizar la menor inversión de recursos materiales por parte de los beneficiarios.

Metodología para el cálculo:

1 - Volumen de biogás necesario  $(V_{bn})$ , en  $m^3$ / día.

$$V_{bn} = (V_{bnc})(n_p)$$

Donde:

$(V_{bnc})$  → Volumen de biogás necesario diario para una persona, (0.20 a 0.3  $m^3$ / día- persona).

$(n_p)$  → Numero de personas que utilizan el biogás

2 - Volumen de biogás adicional,  $(V_{ba})$  en  $m^3$ / día.

$$V_{ba} = (0.10)(V_{bn})$$

3 - Volumen de biogás real,  $(V_{br})$  en  $m^3$ / día.

$$V_{br} = (V_{bn}) + (V_{ba})$$

4 - Volumen necesario del digestor,  $(V_{bnd})$  en  $m^3$ .

$$V_{nd} = (1.4)(V_{br})$$

Un ejemplo para una familia compuesta de cinco integrantes.

$$V_{bn} = (0.30)(5)$$

$V_{bn} = 1.5 m^3$  de producción de biogás por día para una familia de 5 integrantes.

$$(V_{ba}) = ((0.10)(1.5))$$

$(V_{ba}) = 0.15 m^3$  volumen de biogás adicional requerido.

$$V_{br} = (1.5) + (0.15)$$

$V_{br} = 1.65 m^3$  de volumen real del biodigestor.

$V_{nd} = 2.31 m^3$  de volumen necesario del biodigestor.

### **3. BIOCOMBUSTIBLES.**

Los biocombustibles líquidos, se denominan también biocarburantes, son productos que se están usando como sustitutos de la gasolina y del gasóleo de vehículos y que son obtenidos a partir de materias primas de origen agrícola. Existen dos tipos de biocarburantes.

Bioetanol (o bioalcohol), Alcohol producido por fermentación de productos azucarados (remolacha y la caña de azúcar). También puede obtenerse de los granos de cereales (trigo, la cebada y el maíz), previa hidrólisis o transformación en azúcares fermentables del almidón contenido en ellos. Pueden utilizarse en su obtención otras materias primas menos conocidas como el sorgo dulce y la patata.

El bioetanol se utiliza en vehículos como sustitutivo de la gasolina, bien como único combustible o en mezclas que, por razones de miscibilidad entre ambos productos, no deben sobrepasar el 5-10% en volumen de etanol en climas fríos y templados, pudiendo llegar a un 20% en zonas más cálidas. El empleo del etanol como único combustible debe realizarse en motores específicamente diseñados para el biocombustible. Sin embargo, el uso de mezclas no requiere cambios significativos en los vehículos, si bien, en estos casos el alcohol debe ser deshidratado a fin de eliminar los efectos indeseables sobre la mezcla producidos por el agua.

Un biocarburante derivado del bioetanol es el ETBE (etil ter-butil eter) que se obtiene por síntesis del bioetanol con el isobutileno, subproducto de la destilación del petróleo. El ETBE posee las ventajas de ser menos volátil y más miscible con la gasolina que el propio etanol y, como el etanol, se aditiva a la gasolina en proporciones del 10-15%. La adición de ETBE o etanol sirve para aumentar el índice de octano de la gasolina, evitando la adición de sales de plomo. También se utilizan ambos productos como sustitutos del MTBE (metil ter-butil eter) de origen fósil, que en la actualidad se está empleando como aditivo de la gasolina sin plomo.

Biodiesel, también denominado biogasóleo o diester, constituye un grupo de biocarburantes que se obtienen a partir de aceites vegetales como soja, colza y girasol (dos principales cultivos de oleaginosas en la Unión Europea). Los biodiesel son metilesteres de los aceites vegetales obtenidos por reacción de los mismos con metanol, mediante reacción de transesterificación, que produce glicerina como producto secundario. Los metilesteres de los aceites vegetales poseen muchas características físicas y físico-químicas muy parecidas al gasóleo con el que pueden mezclarse en cualquier proporción y utilizarse en los vehículos diesel convencionales sin necesidad de introducir modificaciones en el diseño básico del motor. Sin embargo, cuando se emplean mezclas de biodiesel en proporciones superiores al 5% es preciso reemplazar los conductos de goma del circuito del combustible por otros de materiales como el vitón, debido a que el biodiesel ataca a los primeros. A diferencia del etanol, las mezclas con biodiesel no modifican muy significativamente gran parte de las propiedades físicas y fisicoquímicas del gasóleo, tales como su poder calorífico o el índice de cetano.

### **3.1 VENTAJAS.**

- Disminuir de forma notable las principales emisiones de los vehículos, como son el monóxido de carbono y los hidrocarburos volátiles, en el caso de los motores de gasolina, y las partículas, en el de los motores diesel.
- La producción de biocarburantes supone una alternativa de uso del suelo que evita los fenómenos de erosión y desertificación a los que pueden quedar expuestas aquellas tierras agrícolas que, por razones de mercado, están siendo abandonadas por los agricultores.
- Supone un ahorro de entre un 25% a un 80% de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por los combustibles derivados del petróleo, constituyendo así un elemento importante para disminuir los gases invernadero producidos por el transporte.

El consumo mundial de biocarburantes se cifra en torno a 17 millones de toneladas anuales, correspondiendo la práctica totalidad de la producción y

consumo al bioetanol. Brasil, con alrededor de 90 millones de toneladas anuales y Estados Unidos, con una producción estimada para este año de casi 50 millones de toneladas, son los países más importantes en la producción y uso de biocombustibles. En Brasil el bioetanol se obtiene de la caña de azúcar y su utilización se realiza principalmente en mezclas al 20% con la gasolina. En Estados Unidos el bioetanol se produce a partir del maíz y se emplea en mezclas con gasolina, generalmente al 10%. En la actualidad, este último país ha sustituido casi el 2% de su gasolina por bioetanol.

El biodiesel es todo aquel combustible líquido obtenido a partir de productos agrícolas.

Generación de energía mediante el aprovechamiento de productos naturales o de residuos (biomasa)

### **3.2 FABRICACIÓN.**

El biodiesel es un biocombustible líquido obtenido a partir de aceites vegetales, resultante de productos agrícolas, como el girasol, soja, colza, palma, entre otros, con gran cantidad de aceite y que son utilizados como sustitutos del gasóleo.

Para producir el biodiesel, el aceite se extrae de la semilla cultivada; posteriormente es refinado y sometido a la transesterificación, (se combina el aceite con un alcohol ligero, normalmente metanol). Como subproducto de la reacción química se genera la glicerina, que se emplea como materia prima de diferentes industrias, como la cosmética.

El biodiesel puede usarse en su forma pura (100% biodiesel) o mezclado en cualquier proporción con diesel regular para su uso en motores de ignición a compresión.

### **3.3 PROCESOS INDUSTRIALES.**

En la actualidad existen diversos procesos industriales mediante los cuales se pueden obtener biodiesel. Los más importantes son los siguientes:

- Proceso base-base, mediante el cual se utiliza como catalizador un hidróxido el cual puede ser de sodio o potasio.
- Proceso ácido-base, este proceso consiste en hacer primero una esterificación ácida y luego seguir el proceso normal (base-base), se usa generalmente para aceites con alto índice de acidez.
- Procesos supercríticos, en este proceso ya no es necesario la presencia de catalizador, simplemente se hacen a presiones elevadas en las que el aceite y el alcohol reaccionan sin necesidad de que un agente externo como el hidróxido actúe en la reacción.
- Procesos enzimáticos, en la actualidad se están investigando algunas enzimas que puedan servir como aceleradores de la reacción aceite-alcohol. Este proceso no se usa en la actualidad debido a su alto costo el cual impide que se produzca biodiesel en grandes cantidades.

### **3.4 VENTAJAS MEDIOAMBIENTALES.**

- Se trata de un combustible 100% vegetal y 100% biodegradable, es una energía renovable e inagotable, no genera residuos tóxicos ni peligrosos.
- Cumple con el protocolo de Kyoto, ya que reduce en un alto porcentaje la contaminación atmosférica.
- Las emisiones de CO<sub>2</sub> son entre un 20 y un 80% menos que las producidas por los combustibles derivados del petróleo tanto en el ciclo biológico en su producción como en el uso. Así mismo, se reducen las emisiones de dióxido de azufre en casi 100%.



- Por otra parte, la combustión de Biodiesel disminuye en 90% la cantidad de hidrocarburos totales no quemado, y entre 75-90% en los hidrocarburos aromáticos.
- No contiene ni benceno, ni otras sustancias aromáticas cancerígenas (Hidrocarburos aromáticos poli cíclicos). El Biodiesel, como combustible vegetal no contiene ninguna sustancia nociva, ni perjudicial para la salud, a diferencia de los hidrocarburos, que tienen componentes aromáticos y bencenos (cancerígenos). La no-emisión de estas sustancias contaminantes disminuye el riesgo de enfermedades respiratorias y alergias.

### **3.5 VENTAJAS ECONÓMICAS.**

- Con los aceites vegetales, se contribuye de manera significativa al suministro energético sostenible, lo que permite reducir la dependencia del petróleo, incrementando la seguridad y diversidad en los suministros, así como el desarrollo socioeconómico del área rural (producción de oleaginosas con fines energéticos)
- El uso de biodiesel puede extender la vida útil de motores porque posee un alto poder lubricante y protege el motor reduciendo su desgaste así como sus gastos de mantenimiento. También es importante destacar el poder detergente del biodiesel, que mantiene limpios los sistemas de conducción e inyección del circuito de combustible de los motores.
- La plantación de semillas oleaginosas para la creación de biodiesel conlleva grandes ventajas para el sector agrícola, incluso para las tierras improductivas, ya que pueden aprovecharse nuevamente para la plantación de semillas oleaginosas. Asimismo, colabora en el fomento y desarrollo de cultivos autóctonos como el girasol.

Con la construcción y puesta en funcionamiento de sus plantas de Biodiesel, contribuirá a la creación de trabajos estables en diferentes zonas.

### **3.6 VENTAJAS EN SEGURIDAD Y TRANSPORTE.**

- El transporte del biodiesel es más seguro debido a que es biodegradable. En caso de derrame de este combustible en aguas de ríos y mares, la contaminación es menor que los combustibles fósiles.
- No es una mercancía peligrosa ya que su punto de inflamación por encima de 110°C y su almacenamiento y manipulación son seguras.
- Por su composición vegetal, es inocuo con el medio, es neutro con el efecto invernadero, y es totalmente compatible para ser usado en cualquier motor diesel, sea cual sea su antigüedad y estado.
- Se puede almacenar y manejar de la misma forma que cualquier combustible diesel convencional.

### **3.7 BIOMASA.**

La biomasa es el nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético. La energía de la biomasa deriva del material de vegetal y animal, tal como madera de bosques, residuos de procesos agrícolas y forestales, y de la basura industrial, humana o animales.

El valor energético de la biomasa de materia vegetal proviene originalmente de la energía solar a través del proceso conocido como fotosíntesis. La energía química que se almacena en las plantas y los animales (que se alimentan de plantas u otros animales), o en los desechos que producen, se llama bioenergía. Durante procesos de conversión tales como la combustión, la biomasa libera su energía, a menudo en la forma de calor, y el carbón se oxida nuevamente a dióxido de carbono para restituir el que fue absorbido durante el crecimiento de la planta. Esencialmente, el uso de la biomasa para la energía es la inversa de la fotosíntesis.

### **3.8 FOTOSÍNTESIS.**

Este proceso de captación de la energía solar y su acumulación en las plantas y árboles como energía química es un proceso bien conocido. Los carbohidratos, entre los que se encuentra la celulosa, constituyen los productos químicos primarios en el proceso de bioconversión de la energía solar y al formarse aquellos, cada átomo gramo de carbono (14g) absorbe 112kcal de energía solar, que es precisamente la que después se recupera, en parte con la combustión de la celulosa o de los combustibles obtenidos a partir de ella (gas, alcohol, etc.)

En naturaleza, en última instancia toda la biomasa se descompone a sus moléculas elementales acompañada por la liberación de calor. Por lo tanto la liberación de energía de conversión de la biomasa en energía útil imita procesos naturales pero en una tasa más rápida. Por lo tanto, la energía obtenida de la biomasa es una forma de energía renovable. Utilizar esta energía recicla al carbón y no añade dióxido de carbono al medio ambiente, en contraste con los combustibles fósiles. De todas las fuentes renovables de energía, la biomasa se diferencia en que almacena energía solar con eficiencia. Además, es la única fuente renovable de carbón, y puede ser procesada convenientemente en combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

La biomasa puede utilizarse directamente (por ejemplo combustión de madera para la calefacción y cocinar) o indirectamente convirtiéndola en un combustible líquido o gaseoso (ej.: etanol a partir de cosechas del azúcar o biogás de la basura animal). La energía neta disponible en la biomasa por combustión es de alrededor de 8 MJ/kg para la madera verde, 20 MJ/kg para la materia vegetal seca en horno, 55 MJ/kg para el metano; en comparación con cerca de 23 a 30 MJ/kg para el carbón. La eficiencia del proceso de la conversión se determina cuánto la energía real puede ser utilizada en forma práctica.

### **3.9 APLICACIONES COMO BIOCOMBUSTIBLES.**

La producción de biocombustibles tales como el etanol y el biodiesel tiene el potencial de sustituir cantidades significativas de combustibles fósiles en varias aplicaciones de transporte. El uso extenso del etanol en Brasil ha demostrado que los biocombustibles son técnicamente factibles en gran escala. La producción de biocombustibles en los EE.UU. y Europa (etanol y biodiesel ) está aumentando, siendo la mayoría de los productos utilizados en combustible mezcla, por ejemplo E20 está compuesto por 20% de etanol y 80% de gasolina y se ha descubierto que es eficaz en la mayoría de los motores de ignición sin ninguna modificación. Actualmente la producción de biocombustibles es apoyada con incentivos del gobierno, pero en el futuro, con el crecimiento de los sembrados dedicados a la bioenergía, y las economías de la escala, las reducciones de costos pueden hacer competitivos a los biocombustibles.

### **3.10 PRODUCCIÓN ELÉCTRICA.**

La electricidad puede ser generada a partir de un número de fuentes de biomasa y al ser una forma de energía renovable se la puede clasificar como "energía verde". La producción de electricidad a partir de fuentes renovables de biomasa no contribuye al efecto invernadero ya que el dióxido de carbono liberado por la biomasa cuando es quemado, (directa o indirectamente después de que se produzca un biocombustible) es igual al dióxido de carbono absorbido por el material de la biomasa durante su crecimiento.

### **3.11 CALOR Y VAPOR.**

La combustión de la biomasa o de biogás puede utilizarse para generar calor y vapor. El calor puede ser el producto principal, en usos tales como calefacción de hogares y cocinar, o puede ser un subproducto de la producción eléctrica en centrales combinadas de calor y energía. El vapor generado por la biomasa puede utilizarse para accionar turbinas de vapor para la producción eléctrica, utilizarse como calor de proceso en una fábrica o planta de procesamiento, o utilizarse para mantener un flujo de agua caliente.

### **3.12 GAS COMBUSTIBLE.**

Los biogases producidos de la digestión o de la pirólisis anaerobia tienen un número de aplicaciones. Pueden ser utilizados en motores de combustión interna para accionar turbinas para la producción eléctrica, puede utilizarse para producir calor para necesidades comerciales y domésticas, y en vehículos especialmente modificados como un combustible.

### **3.13 VENTAJAS DE LA BIOMASA.**

La biomasa es una fuente renovable de energía y su uso no contribuye al calentamiento global. De hecho, produce una reducción los niveles atmosféricos del bióxido de carbono, como actúa como recipiente y el carbón del suelo puede aumentar.

Los combustibles de biomasa tienen un contenido insignificante de azufre y por lo tanto no contribuyen a las emisiones de dióxido de azufre que causan la lluvia ácida. La combustión de la biomasa produce generalmente menos ceniza que la combustión del carbón, y la ceniza producida se puede utilizar como complemento del suelo en granjas para reciclar compuestos tales como fósforo y potasio.

La conversión de residuos agrícolas, de la silvicultura, y la basura sólida municipal para la producción energética es un uso eficaz de los residuos que a su vez reduce significativamente el problema de la disposición de basura, particularmente en áreas municipales.

La biomasa es un recurso doméstico, que no está afectado por fluctuaciones de precio a nivel mundial o a por las incertidumbres producidas por las fuentes de combustibles importados. En países en vías de desarrollo en particular, el uso de biocombustibles líquidos, tales como biodiesel y etanol, reduce las presiones económicas causadas por la importación de productos de petróleo.

### **3.14 RESTRICCIONES EN EL USO DE LA BIOMASA.**

En naturaleza, la biomasa tiene relativamente baja densidad de energía y su transporte aumenta los costos y reduce la producción energética neta. La biomasa tiene una densidad a granel baja (grandes volúmenes son necesarios en comparación con los combustibles fósiles), lo que hace el transporte y su administración difíciles y costosos. La clave para superar este inconveniente está en localizar el proceso de conversión de energía cerca de una fuente concentrada de biomasa, tal como una serrería, un molino de azúcar o un molino de pulpa.

La combustión incompleta de la leña produce partículas de materia orgánica, el monóxido de carbono y otros gases orgánicos. Si se utiliza la combustión de alta temperatura, se producen los óxidos del nitrógeno. En una escala doméstica más pequeña, el impacto en la salud de la contaminación atmosférica dentro de edificios es un problema significativo en los países en vías de desarrollo, en donde la leña se quema ineficazmente en fuegos abiertos para cocinar y la calefacción de ambientes.

Existe la posibilidad que el uso extensivo de bosques naturales cause la tala de árboles y escasez localizada de leña, con ramificaciones ecológicas y sociales serias. La conversión de bosques en tierras agrícolas y áreas urbanas es una importante causa de la tala de árboles. Además, en muchos países asiáticos gran parte del combustible de la madera usado con propósitos de energía provienen de áreas indígenas boscosas.

Hay un conflicto potencial por el uso de los recursos de la tierra y del agua para la producción de energía de biomasa y otras aplicaciones, tales como producción de alimentos y de fibras. Sin embargo, el uso de técnicas modernas de producción agrícola representa que hay suficiente tierra disponible para todas las aplicaciones, incluso en regiones densamente pobladas como Europa.

Algunos usos de la biomasa no son completamente competitivos en esta etapa. En la producción de electricidad por ejemplo, hay fuerte competencia de las nuevas plantas de gas natural, altamente eficientes. Sin embargo, la economía de

la producción energética de biomasa está mejorando, y la preocupación cada vez mayor por las emisiones de gas de invernadero está haciendo a la energía de biomasa más atractiva.

La producción y el proceso de la biomasa pueden implicar un consumo de energía significativa, tales como combustible para los vehículos y los fertilizantes agrícolas, dando por resultado un balance energético reducido para el uso de la biomasa. En el proceso de la biomasa se necesitan reducir al mínimo el consumo de combustibles fósiles, y maximizan la conversión de basura y recuperación de energía.

A menudo existen restricciones políticas e institucionales al uso de biomasa, tales como políticas energéticas, impuestos y subsidios que animan el uso de combustibles fósiles. Los costos de la energía no reflejan a menudo las ventajas ambientales de la biomasa o de otros recursos energéticos renovables.

### **3.15 INICIATIVA DE LEY PARA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES.**

Durante la firma del Convenio de Coordinación entre la SAGARPA y el estado de Veracruz, se informó que los gobiernos de los estados sólo aportan 16 de cada 100 pesos para apoyar al campo y a la pesca.

Hasta ahora, sólo los presidentes municipales de nueve estados han destinado recursos económicos para el sector primario de la economía.

En los últimos 60 días, el secretario de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Alberto Cárdenas Jiménez ha signado 17 Convenios de Coordinación para el Desarrollo Rural Sustentable con igual número de gobernadores, a través de los cuales se han comprometido recursos para el campo y la pesca, durante el presente año, por 22 mil 706 millones de pesos, a fin de "revertir las tendencias de disminución en el ingreso de los 25 millones de habitantes que viven en el sector rural y pesquero del país".

Al clausurar el Foro de Consulta "Políticas Públicas para el Sector Agropecuario y Pesquero 2006-2012", Alberto Cárdenas explicó que los presidentes municipales

de Campeche, Colima, Michoacán, Morelos, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tabasco y Tamaulipas han comprometido recursos económicos para apoyar al sector primario por un monto total de 243.5 millones de pesos, cantidad que representan el uno por ciento del total de recursos que ya se han comprometido hasta la fecha.

El secretario de Agricultura anuncio aquí que México le entrara a la producción de biocombustibles; para ello, agregó, esperara que en el Congreso de la Unión se apruebe la ley correspondiente para posteriormente presentar el Programa Nacional de Biotecnología en el que se aprovechara la experiencia que han tenido otras naciones y evitar caer en los mismos errores.

Explicó que en el caso particular del estado de Veracruz, se firmó un Convenio de Coordinación a través del cual se operarán recursos durante el presente año por un monto global de dos mil 888 millones de pesos, de los cuales, dos mil 348 millones corresponden a la aportación del gobierno federal y únicamente 539.9 millones significan la aportación del gobierno del estado.

En compañía del gobernador de Veracruz, Fidel Herrera Beltrán, el Secretario de Agricultura agregó que con esta inversión de los gobiernos federal y estatal se propicia la participación de las autoridades, con el propósito de dar mayor certidumbre a los productores para que alcancen una mayor productividad, rentabilidad y competitividad que les permitan fortalecer su asistencia a los mercados nacionales e internacionales.

Al signar el Convenio de Coordinación entre la SAGARPA y el Gobierno de Veracruz, el funcionario federal dijo que a través de esta aportación global de recursos para el campo se busca "compartir el riesgo de la reconversión productiva y las inversiones de capitalización que lleven a cabo los productores".

Asimismo, se fomenta la realización de inversiones, obras o tareas que sean necesarias para lograr el incremento de la productividad del sector rural, los servicios ambientales y las actividades pesqueras.



Ante más de mil 200 productores agrícolas, ganaderos, pescadores, inversionistas agroindustriales, apicultores y funcionarios municipales, estatales y federales, el Titular de la SAGARPA explicó que estos recursos del Programa Especial Concurrente son utilizados para reforzar las campañas en materia de sanidad vegetal, salud animal y sanidad acuícola, así como para las actividades de inocuidad agroalimentaria, control de movilización en los puntos de verificación, vigilancia epidemiológica de plagas y enfermedades, implementación de dispositivos de emergencia y colaboración en materia sanitaria en apoyo a las exportaciones.

En los últimos dos meses, el Secretario de Agricultura ya firmó Acuerdos de

Coordinación con los gobernadores de Aguascalientes, Baja California, Campeche, Colima, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán.

Agregó que durante las próximas tres semanas, visitará los restantes 15 estado para firmar los Convenios de Coordinación respectivos y concluir con este proceso de compromiso tripartita de recursos para el sector rural y pesquero.

En relación al Foro de Consulta "Políticas Públicas para el Sector Agropecuario y Pesquero 2006-2012", Alberto Cárdenas informó que ya se han realizado 18 foros en igual número de entidades federativas, en los que la respuesta de los hombres y mujeres del campo ha sido "satisfactoria y alentadora, toda vez que ya hemos congregado en torno a este ejercicio de consulta a poco más de nueve mil participantes.

Explicó que en estos foros de Consulta Pública buscamos obtener, de manera directa y participativa, las opiniones de lo más representativo de la sociedad rural.

Durante el evento que se llevó a cabo en la capital del estado de Veracruz, el Secretario de Agricultura, Alberto Cárdenas Jiménez y el gobernador Fidel Herrera Beltrán, entregaron recursos del Procampo por un monto de 8.5 millones de pesos

para beneficio de 320 productores a quienes les corresponden mil 160 pesos por hectárea.

### **3.16 APRUEBAN LEY QUE PERMITE LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES EN MÉXICO.**

Frenesí en San Lázaro: en un día avalan 16 iniciativas de ley y turnan 112 a comisiones

Con el dilema de aprobar cuanto dictamen se pudiera en un solo día, la Cámara de Diputados resolvió a favor 16 iniciativas de ley de relevancia -algunas en tres minutos- 11 puntos de acuerdo, y turnó a comisiones 112 iniciativas y 187 puntos de acuerdo, en un récord sin precedente en los años recientes.

En medio de ese frenesí, el pleno aprobó la minuta del Senado que expide la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, la cual busca impulsar el uso de combustibles alternativos a partir del maíz, como el etanol y el biodiesel, con objeto de remplazar los derivados del petróleo.

A pesar del amago del PRI, anunció que no permitiría que el maíz se utilizara para la producción de ambos combustibles y que, por lo tanto, sacaría definitivamente el tema del dictamen, ayer en San Lázaro quedó en entredicho una vez más la postura del *tricolor* y se puso en riesgo la soberanía alimentaria, porque la base fundamental de la dieta nacional se destinará a necesidades industriales.

La minuta fue aprobada por 243 votos en favor, de la mayoría priísta y panista; 128 en contra, de los diputados del Frente Amplio Progresista, y ocho abstenciones. El reclamo a PRI, PAN y Nueva Alianza -que respaldó la reforma- provino de la fracción perredista.

El diputado Fausto Mendoza advirtió desde la tribuna que de ninguna manera se beneficiarán los agricultores mexicanos con esa reforma; al contrario, sostuvo,

quienes la aprovecharán serán las empresas privadas, que generarán el combustible y lo venderán a Petróleos Mexicanos.

La nueva ley promete, según el dictamen, "mejores condiciones al campo mexicano" y sienta las bases para promover y desarrollar el uso de los bioenergéticos como elementos claves en la contribución a la autosuficiencia energética de México.

Sobre todo considera que se establecen los lineamientos para apoyar a los productores de maíz y de caña de azúcar en materia de construcción de infraestructura, adquisición y operación de plantas de conservación y transformación industrial, insumos, equipos y demás bienes que requiera la siembra y cultivo de ambos productos.

#### **4. DISEÑO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE BIOGÁS UTILIZANDO**

##### **RESIDUOS DE GANADO VACUNO**

En este trabajo se presenta el diseño para una planta productora de biogás que funcione con los residuos orgánicos de 1300 reses de ganado vacuno para producir parte de la energía necesaria dentro del normal funcionamiento de una zona rural. Es importante señalar que dentro del diseño se incluye equipo que se encuentra actualmente en funcionamiento con el fin de bajar los costos de inversión. Además se presenta el diseño de la planta piloto que debe ser construida a escala de la planta y sobre la que se deben realizar pruebas antes de la construcción del diseño final. Como complemento al diseño del digestor y teniendo en cuenta la poca información disponible en la bibliografía, se realizó una investigación que busca caracterizar el digestor seleccionado para operar en la planta y de esta forma diseñar según parámetros reales.

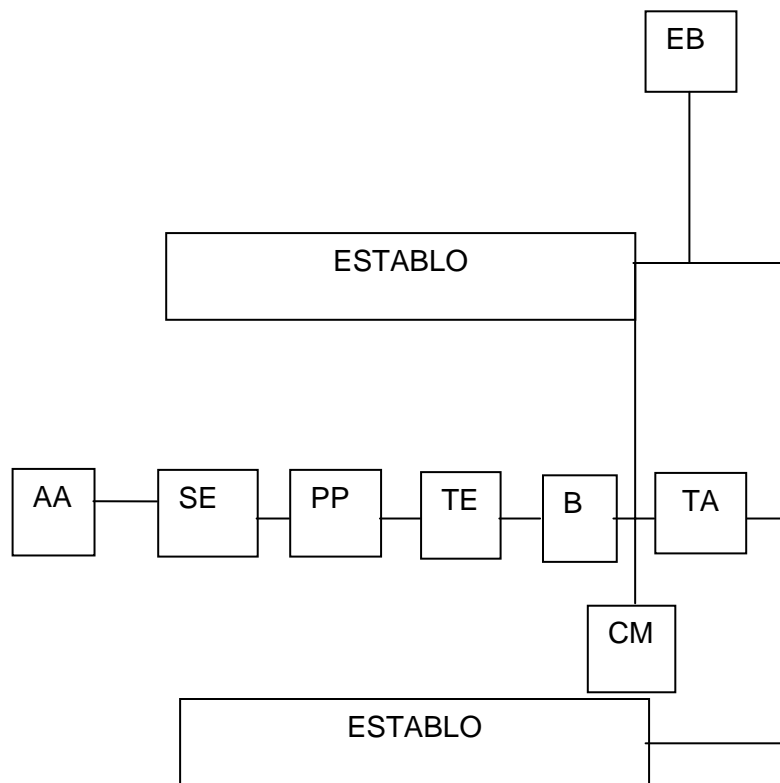
#### **4.1 DISEÑO PROPUESTO.**

La planta consta de las siguientes partes:

- Establo
- Secado de alimento
- Almacenamiento del alimento
- Almacenamiento de material para los espacios individuales
- Tanque de recolección
- Digestor
- Cuarto de máquinas
- Control
- Tanque para almacenamiento de efluente
- Planta piloto

A continuación se muestran y describen cada una de ellas (figura 8).

Figura 8



AA.- ALMACÉN DE ALIMENTO.

B.-BIODIGESTOR.

CM.- CUARTO DE MAQUINAS.

EB.- ESTACIÓN DE BOMBEO.

PP.-PLANTA PILOTO.

SE.- SECADO DE ALIMENTO.

TA.- TANQUE DE AGUA.

TE.- TANQUE EFLUENTE.

TR.- TANQUE DE RECOLECCIÓN.

## 4.2 ESTABLO

Trabaja en coordinación con el digestor seleccionado. Se diseñaron dos establos paralelos e idénticos.

El establo se debe ubicar en un sitio donde exista un buen drenaje de agua lluvia. Además se deben proveer buenos accesos para el manejo del alimento y de los residuos orgánicos.

Para la estabulación se utilizan establos de tipo libre y de tipo atado. La estabulación libre consiste en que los animales pueden andar sin restricciones por el establo y duermen en espacios individuales, por el contrario la estabulación atada consiste en dejar al animal amarrado en el espacio individual. En este diseño se opta por la estabulación libre ya que es la opción preferida cuando se tienen más de cincuenta (50) cabezas de ganado, además es más económica tanto en construcción como en mantenimiento. Este establo se encuentra compuesto por cuatro pasillos y cuatro filas de establos individuales. El material de bedding se utiliza para darle comodidad y limpieza a los animales, ya que es cambiado dos veces por día. El material que se recomienda utilizar para este proyecto es papel periódico, ya que es fácil de conseguir y ha probado ser muy efectivo en esta labor. Entonces, se escoge que por animal por día se debe tener una cantidad de 0.7 Kg de material, esto hace que se necesiten diariamente 910 Kg de papel periódico. Se debe acondicionar un espacio de almacenamiento que tenga una capacidad para guardar por lo menos 5000 Kg.

Sabiendo que la densidad del papel periódico es aproximadamente  $254.5 \text{ Kg/m}^3$ , se tiene que el espacio de almacenamiento debe poseer un volumen igual a  $19.65 \text{ m}^3$ .

En el centro del establo se encuentra el espacio de alimentación, que consiste en una cerca de madera con dimensiones especiales, cuyos postes se pueden retirar con el fin de dar alimentación a los animales en horarios específicos, si por el contrario se desea que los animales se alimenten en cualquier momento, pues estos espacios permanecerán libres todo el tiempo.

El establo debe tener un espacio para guardar el alimento, y poseer los dispositivos o mecanismos especiales para transportarlo y de esta forma conservar el espacio de alimentación con suficiente material. Para esto se puede disponer de un cuarto fuera del establo y un carrito que transporte el material dentro de este, otra opción consiste en tener un silo que almacene el alimento y este a su vez sea transportado por cangilones hasta el espacio de alimentación.

Las dos propuestas son factibles, pero el silo es utilizado en lugares donde no hay disponibilidad constante de alimento, lo cual no va con las condiciones de este caso, ya que la planta se ubicaría en una región con un promedio de precipitación mensual alto, que garantiza una cantidad constante de alimento en el año.

La cantidad de alimento que consume cada animal es 13.6 kg por día aproximadamente, entonces diariamente se deben tener disponibles 17680 kg de alimento. Adicionalmente se debe proveer un espacio para almacenar el 50% del alimento suministrado diariamente, esto quiere decir que se necesita un espacio que pueda almacenar diariamente 26520 kg de alimento seco, o en otras palabras, que tenga un volumen de 147  $m^3$ . Todo lo anterior significa que adicional al espacio de almacenamiento, debe existir un campo con aproximadamente 1 hectárea de alimento, libre de "maleza", por cabeza de ganado, o sea un campo de 1300 hectáreas, libre, disponible para la recolección de alimento. También se debe tener presente que una vaca bebe entre 115 y 135 litros de agua en un día, esto quiere decir que se necesitan diariamente 162500 litros de agua, o sea debe existir un tanque de mínimo 180  $m^3$ .

Como se mencionó anteriormente, el alimento debe almacenarse y suministrarse a los animales seco, esto es importante ya que si el alimento está húmedo se descompone más fácilmente y no alimenta al animal porque no alcanza a digerir las proteínas contenidas en la materia nitrogenada. El aporte de calcio y fósforo contenido en las sales minerales es importante también. Para secar el alimento se aprovechará la alta temperatura de la región, que en promedio es de 27°C, simplemente esparciendo el alimento en un área pavimentada de 730  $m^2$  ubicada

en la parte exterior y dejándolo ahí hasta que alcance las condiciones necesarias, tal y como se hace en el secado del café.

La ventilación del establo debe ser considerada para mantener una temperatura de confort, eliminar corrientes de aire y humedad excesiva que afecte a los animales, para este diseño se escogió la ventilación natural utilizando cortinas plásticas de pared ubicadas en los lados del establo sobre su longitud y operadas manualmente por medio de poleas, además se utiliza una apertura a lo largo de todo el establo que funciona como chimenea sacando el aire caliente por la parte superior y permitiendo que entre aire fresco por los lados del establo (cortinas plásticas). La experimentación ha demostrado que la combinación mencionada anteriormente funciona correctamente siempre y cuando se tenga realimentación constante de la temperatura dentro del establo. Esta realimentación se hace utilizando termocuplas convencionales que se ubiquen cada 4 metros aproximadamente sobre el eje longitudinal del establo y a 2 metros sobre cada pasillo de establos individuales. Cuando la temperatura aumenta o disminuye sobre los niveles normales (tabla 3), una señal le indicará al operario que debe abrir o cerrar las cortinas.

Tabla 3. Requerimientos de Temperatura y Humedad dentro del Establo.

| Clase de animal | Temperatura interna recomendada<br>°C (F) |         | Humedad relativa interna recomendada (%) |     |
|-----------------|---|---------|--|-----|
|                 | Min                                       | Max     | Min                                      | Max |
| Vacas           | -7 (20)                                   | 24 (75) | 25                                       | 75  |
| Terneros        | 10 (50)                                   | 27 (80) | 25                                       | 75  |

El estiércol debe ser recogido raspando el piso de cada pasillo, para realizar esto se debe utilizar un vehículo (tractor preferiblemente) con una pala en su extremo



delantero y recorrer el establo de un extremo a otro dos o tres veces por día. Al final del establo se encuentran unas rejillas por donde cae el estiércol a un canal de concreto que la conducirá hacia el tanque de recolección.

Los animales que se encuentren enfermos o en tratamiento especial con algún tipo de droga o antibiótico serán desplazados hacia un establo para 20 animales, separado del establo principal, que conserva las mismas características de diseño y construcción de este. Los animales deben ser separados ya que su estiércol podría afectar enormemente el funcionamiento del digestor en caso de estar bajo tratamiento con antibióticos, ya que estos matan a las bacterias metanogénicas (productoras de metano). El tratamiento de los residuos orgánicos de estos animales se explicará cuando se trate el tema de planta piloto.

### **4.3 TANQUE DE RECOLECCIÓN**

Como se dijo anteriormente, se encuentra ubicado entre los dos establos, su función es recoger el estiércol que ha sido transportado por el canal de concreto gracias a un chorro de agua a presión (traída desde un río por medio de una bomba y filtrada para eliminar las impurezas) en una cantidad exacta a la requerida por el digestor (5550 litros/día aprox.). Posee entonces dos entradas para estiércol recogido y mezclado y una salida hacia el digestor.

El volumen diario de producción de estiércol por animal es de  $0.053 \text{ m}^3/\text{día}$ . vaca (que equivalen a aproximadamente 50 Kg/día.vaca de estiércol con un % de sólidos totales de 13% (supuesto)), lo que da un volumen total diario de  $68 \text{ m}^3$  aproximadamente. La cantidad de agua necesaria para que la mezcla mantenga un porcentaje de sólidos totales dentro del rango requerido por el digestor (11-13%) es de  $0.0042 \text{ m}^3/\text{día.vaca}$ , o sea que el volumen total (estiércol+agua) almacenado en un día es de  $74 \text{ m}^3$  aproximadamente (70417 Kg de mezcla). El tanque se diseña para que pueda almacenar una cantidad mayor a tres veces la cantidad de mezcla diaria,  $260 \text{ m}^3$ , con el fin de tener la suficiente capacidad de almacenamiento en caso de un problema con el digestor o con cualquier otro componente de la planta.

El estiércol se debe recoger temprano en la mañana con el fin de permitir que la mezcla permanezca un tiempo dentro del tanque para calentarla un poco e introducirla al digestor a temperatura ambiente, ya que el choque térmico que se produce puede ser fatal para las bacterias.

#### **4.4 CONDUCCIÓN DE LA MEZCLA**

La mezcla es enviada al digestor utilizando una bomba. La curva de acople entre el sistema y la bomba da como resultado una altura de 5.41 m y un caudal de 78.887GPM. La mezcla se conduce hacia el digestor por tubería de 3" La configuración de tubería es recta en dos tramos y posee dos codos de 45 grados.

Esta bomba se escoge porque está diseñada para manejar mezclas que contengan algún contenido de fibra gracias a que posee un rotor en forma de S que funciona como una cuchilla. Además posee un embrague especial que permite desconectar el motor cuando algún objeto trabe el rotor. Posee también un aparejo que permite desconectarla del tubo y sacarla para destrabarla o hacer mantenimiento. El motor que utiliza es de jaula de ardilla y funciona a 1800 rpm.

Cabe anotar que en el diseño del tanque de recolección se provee un foso especial para colocar la bomba y que de esta forma siempre quede sumergida con el fin de evitar que la bomba aspire aire.

La bomba está encendida solamente cuando el digestor se encuentra en proceso de carga, el caudal que maneja en este periodo, que es de 5 horas más o menos, es de aproximadamente 18  $m^3$ /hora. El tiempo de carga del digestor puede verse alto inicialmente, pero es bastante recomendable que sea así, primero para evitar el choque térmico que puede producirse si una gran masa de mezcla entra al digestor, y segundo para que la descarga del material digerido se haga de una forma mucho más gradual evitando que salga material sin digerir.

#### **4.5 DIGESTOR**

Los digestores anaeróbicos trabajan bajo el principio de que en ausencia de oxígeno, las bacterias presentes en el residuo orgánico puedan descomponerlo.

La digestión de la materia orgánica ocurre en cuatro etapas básicas que son: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis). Es en la etapa final, metanogénesis, que los compuestos intermedios se rompen para formar metano. Los digestores anaeróbicos capturan el gas liberado en el proceso de digestión. Este gas es llamado biogás. El biogás está compuesto por metano principalmente (55- 70%) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), además posee ácido sulfhídrico en baja cantidad y trazas de agua y monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ). La mezcla digerida debe guardarse en un tanque hasta que sea aplicada en el terreno.

Las bacterias productoras de metano florecen cuando el medio en el que se encuentran tiene una temperatura entre los 35 y 40.5°C (en el rango mesofílico, también existen bacterias que digieren a mayores, rango termofílico), y entonces los digestores que son calentados son más eficientes en su función de producir metano que los que no son calentados.

El digestor seleccionado es del tipo “plug-flow”. Este digestor tiene la ventaja de no necesitar ningún tipo de agitación, ninguna parte móvil, trabaja sólo con estiércol vacuno (por su alto contenido de fibra), debe cargarse con poca agua, o sea que debe tener un contenido de sólidos entre 11% y 13%, por lo que el estiércol debe ser recogido del piso del establo. La permanencia de la mezcla es de 20 días como máximo cuando la temperatura es 37.5°C, por lo tanto debe poseer un intercambiador de calor interno o externo con el fin de mantener ese rango de temperaturas con variaciones no mayores a 0.5°C. Puede estar ubicado bajo tierra o por encima. Puede tener almacenamiento de gas con techo en concreto o con globo. Posee dos entradas, una para la mezcla y otra para el intercambiador de calor, y tres salidas, una para la mezcla digerida, otra para el intercambiador de calor y otra para el biogás.

El volumen de mezcla recogido diariamente multiplicado por el número de días que la carga va a estar en el digestor (20), da el volumen necesario del digestor que es de 1480  $\text{m}^3$ . La producción de gas para un digestor de este tamaño es aproximadamente 2440  $\text{m}^3$ /día. Para el almacenamiento del biogás se recomienda tener disponible en el digestor un espacio que contenga gas producido durante 4 –

12 horas, esto quiere decir que si se escoge un espacio que almacene gas producido durante 8 horas se tendrá un volumen igual a 813  $m^3$ .

Teniendo lo anterior presente, se diseña un digestor que maneje una mezcla con un porcentaje de sólidos entre 11-13%, bajo tierra, rectangular. Posee almacenamiento de gas con globo. Por norma el digestor debe tener las siguientes dimensiones: 40 metros de longitud, 9.4 metros de ancho y 4.20 m de alto. Para el almacenamiento del gas se necesitan cerca de 500  $m^3$  de Hypalon, el cual debe sellarse con calor a las paredes del tanque y debe resistir los rayos ultravioleta y las condiciones climáticas adversas.

#### **4.6 CONDUCCIÓN DE BIOGÁS**

La tubería seleccionada es de pvc para gas natural de 2". Tiene en total una longitud de 11 metros aproximadamente. Debe tener válvulas de bola al principio y al final de la línea junto con manómetros. También debe existir a la salida de la cubierta del digestor un sensor de temperatura, un sensor de presión y a la entrada al motor un sensor de caudal. Se incluye también una trampa de agua y un equipo, que posee válvula de alivio (la cual se usa en caso de una presión excesiva en el globo), trampa de llama y quemador de exceso de gas (más adelante se hablará con más detalle sobre cuando no se utiliza biogás), este último posee una línea para pilotaje que puede ser alimentada con combustible convencional o con el biogás.

La distancia entre la salida de biogás y el salón de máquinas es de aproximadamente 11 metros. La caída de presión en la tubería desde el digestor hasta el cuarto de máquinas es menor a 5 centímetros de agua.

#### **4.7 EQUIPO PARA LIMPIEZA DEL BIOGÁS**

Está ubicado en la primera parte de la tubería que sale del globo. Los principales componentes del biogás a limpiar son el agua y el ácido sulfhídrico. Se condensa el agua haciendo expansiones y contracciones bruscas en la tubería de

conducción de biogás. El ácido sulfhídrico se remueve utilizando filtros a base de óxido de hierro que remueven el azufre y que deben ser renovados constantemente. Cuando el gas producido se utiliza sólo como combustible para motores, se recomienda muchas veces no limpiar el gas por qué no afecta el rendimiento ni los componentes del motor, además que las emisiones de ácidos son insignificantes en comparación con un motor funcionando sólo con combustible Diesel, el problema radica en que existen componentes en la planta que pueden verse afectados (como por ejemplo los elementos mencionados en el punto anterior) con la mezcla de agua y ácido sulfhídrico (que puede formar ácido sulfúrico), entonces, la mejor solución es remover solamente el agua del biogás ya que es el procedimiento más sencillo, económico y de fácil mantenimiento. Entonces para limpiar el biogás se utiliza la trampa de agua descrita en la sección anterior.

#### **4.8 TANQUE DE EFLUENTE**

Este tanque recoge la mezcla digerida, la cual es un abono excelente. Este tanque se fabrica de la misma forma que el tanque de recolección y que el digestor, va enterrado, se hace aproximadamente nueve veces más grande que el tanque de recolección, 5880 m<sup>3</sup>, ya que los cultivos no necesitan constantemente el riego con abono, posee una entrada y una salida, sus dimensiones son 60m x 14m x 7m (longitud, ancho, alto). Se utiliza la misma bomba descrita para el tanque de recolección y mezcla. El abono que no se utiliza en la planta se venderá o regalará a agricultores de la región.

#### **4.9 EQUIPOS QUE UTILIZAN BIOGÁS**

Por un lado se puede tener una cocina y por el otro se tenían dos generadores, de 850 KW de potencia de salida, que funcionan con combustible diesel. Los requerimientos energéticos de la planta actualmente son muy claros, se debe suministrar 500 KW de energía eléctrica producida por uno de los dos generadores. Si sólo se utiliza el biogás para generar los 500 Kw de energía eléctrica, se necesitarían aproximadamente 6800 m<sup>3</sup>/día. Ahora bien, se sabe que

la planta produce únicamente  $2440 \text{ m}^3/\text{día}$ , esto deja un defecto de  $4360 \text{ m}^3/\text{día}$ . Analizando lo anterior se deduce que se utiliza el biogás para una cosa (generación de energía eléctrica) o para la otra (cocina). La solución más económica y de fácil implementación es la de adaptar los motores diesel de los generadores para que funcionen con doble combustible simplemente colocando la tubería de conducción de biogás después del filtro de aire. Lo anterior de hecho representa un ahorro ya que con esa cantidad de biogás se pueden generar 250 Kw de energía eléctrica, que equivale a un ahorro aproximado del 50% en los costos del combustible diesel. Siendo más precisos, si se utiliza todo el biogás, y suponiendo un funcionamiento del motor-generator de 24 horas con combustible dual (biogás y Diesel), se necesitarían por día 1489 Litros (393 Gal) contra 2970 Litros (785 Gal) que se necesitarían sin el biogás, entonces existiría un ahorro real de 1489 Litros/ día en el combustible Diesel. Lo anterior da como resultado que la mezcla combustible estará compuesta por 68% de biogás y 32% de Diesel.

#### **4.10 INTERCAMBIADOR DE CALOR**

Existe un intercambiador de calor asociado al diseño, el cual se encuentra dentro del digestor. El agua de refrigeración del motor que mueve el generador es utilizada para calentar el digestor y el tanque de recolección. La temperatura del agua a la salida del motor y la entrada del digestor es aproximadamente  $94^\circ\text{C}$ , para mantenerlos  $37.5^\circ\text{C}$  dentro del digestor. El agua es conducida por tubería de 2", que se coloca bajo tierra cuando esta sale del cuarto de máquinas, y que tiene una longitud de 32 metros aproximadamente, para llegar a un colector de 4" de diámetro que se encarga de repartir el agua por cada uno de los seis tubos que pasan dos veces por el digestor y tienen una longitud aproximada de 81.5m cada uno. A la salida del digestor el agua tiene una temperatura que oscila entre 43 y  $73^\circ\text{C}$ , dependiendo del coeficiente global de transferencia de calor. Si este es muy bajo (del orden de  $50 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ), la temperatura de salida va a ser del orden de  $73^\circ\text{C}$  y la efectividad del intercambiador muy baja (0.38), si por el contrario el coeficiente global de transferencia de calor es alto (cercano a los  $250 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ), la temperatura de salida va a ser baja y la efectividad del intercambiador es alta (0.91). Vale la

pena aclarar que esta es la máxima efectividad de intercambio de calor que se puede conseguir con el intercambiador diseñado. Inicialmente la mezcla demora aproximadamente 10 días en alcanzar su temperatura óptima (37.5°C). A la salida del digestor el agua va directo hacia un radiador que se encarga de bajar la temperatura hasta un valor cercano a la temperatura ambiente. La temperatura del digestor se monitorea midiendo la temperatura de salida del biogás. El radiador está ubicado en la parte exterior de la sala de máquinas. Si en algún momento el motor deja de funcionar, el gas en exceso, o sea el que sobrepase una presión determinada sin abrir la válvula de alivio, será desviado hacia el dispositivo quemador de gas.

#### **4.11 CONTROL**

Parte del control se explicó en el punto anterior. Como instrumento de control se utiliza un PLC, las entradas serían el sensor de temperatura del biogás a la salida del digestor, sensor de presión de biogás a la salida (se registra la señal constantemente para identificar cambios bruscos que signifiquen fugas), los sensores de temperatura ubicados en el establo (los cuales simplemente dan una señal luminosa en el panel de control para que un operario abra o cierre las cortinas plásticas para la entilación según sea el caso dependiendo de la dirección del viento), los sensores de demanda eléctrica (detectan si hay sobredemanda o no hay demanda de energía eléctrica y se da la orden de apagar el motor), las fotoceldas (dan la orden al PLC de encender las luces del establo y alrededores), caudal de agua de refrigeración (si baja hasta un nivel determinado el motor se apaga), sensor de caudal de biogás (lleva un control de la producción y da señales luminosas cuando ha bajado mucho para revisar el digestor y aumentar la cantidad de combustible diesel en el motor) y el sensor de caudal de agua para la mezcla (el llenado del tanque de recolección se hace manualmente simplemente oprimiendo un botón que enciende la bomba y en ese momento el PLC registra la señal del sensor apagando la bomba cuando el caudal necesario se haya completado, indica cuando la mitad del caudal ha sido alcanzado para mover las válvulas y dirigir agua hacia el segundo establo o hacia el tanque

elevado). Otros controles que se deben realizar son la medición del PH de la mezcla en digestión, la composición del biogás (CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) y la composición del efluente, ya que sirven para corregir algunos aspectos que puedan estar fallando en el proceso de carga de la mezcla.

#### **4.12 PLANTA PILOTO**

En presentaciones anteriores se sugirió diseñar y construir inicialmente una planta piloto a escala del diseño final escogido. Para la planta piloto se van a tener los mismos componentes pero reducidos aproximadamente 65 veces. El establo será el que se construya para cuidado y tratamiento de animales enfermos. La recolección del estiércol se efectuará de la misma forma que para el diseño más grande, al igual que la mezcla con agua. La mezcla se conduce con la bomba descrita en la sección 2.3 hacia un digestor de 28 m<sup>3</sup>, con dimensiones 7 metros X 1.6 metros X 2.5 metros (largo, ancho, profundo). La idea aquí es hacer funcionar la planta piloto en la misma forma descrita a la largo de este documento y verificar que el funcionamiento sea normal, seguro y de acuerdo a lo esperado. Los sensores descritos anteriormente se pueden utilizar en la planta piloto y después de las pruebas incorporarlos en la planta real.



## RECOMENDACIONES

Para poder llegar a ser competitivos en el desempeño laboral, no basta con terminar una carrera a nivel licenciatura. Si no seguirse preparando y poner el empeño necesario en todo que hagamos, porque al salir al campo de trabajo no basta con lo que aprendemos en la escuela porque ahí nos piden más de lo que la carrera nos proporciona por eso hay que tomar todas las oportunidades que se nos presenten para seguir aprendiendo y así superarse día a día.

Antes de empezar a realizar el presente trabajo me enfrente en el campo laboral y, sin título no nos dan el lugar por el cual nos hemos preparado por tal motivo decidí iniciar lo que son los tramites de titulación y durante el desarrollo del presente trabajo me he dado cuenta de que hay muchos obstáculos, pero lo que nunca hay que perder ciertos puntos para poder lograr lo que queremos.

-Perseverancia: Es algo que debemos llevar con nosotros día con día porque las cosas no siempre nos resultan a la primera vez que las intentamos, y no debemos dejarnos derrotar a la primera si no aprender de eso que no nos deja hacer lo que queremos, e insistir hasta obtenerlo sin importar el tiempo y esfuerzo que sea necesario .

-Confianza: Se va de la mano con la anterior solo que cada persona sabe hasta dónde es capaz de llegar para obtener y es lo que nos mantiene un pie para lograr nuestros objetivos.

-Capacitación e investigación constante : Es de suma importancia no tener dudas para que ante alguna pregunta, porque algunas veces no sabemos ciertas cosas y aunque nos interese no hacemos por saber bien de qué trata.

-Superación: Como recién egresados, necesitamos buscar una superación que haga la diferencia ante las demás personas por que eso nos va ayudar a sobresalir más adelante puesto que vamos un paso adelante.

## **CONCLUSIONES.**

La utilización de biodigestores ofrece grandes ventajas para el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias, pues además de disminuir la carga contaminante de las mismas, extrae gran parte de la energía contenida en el material sin afectar (o inclusive mejorando) su valor fertilizante y controlando de manera considerable los malos olores.

El uso del biogás para la generación de electricidad da un valor adicional al empleo de biodigestores en las empresas agropecuarias. Aunque los resultados económicos no se pueden generalizar pues cambiarán de acuerdo a las circunstancias de cada lugar, en el presente trabajo la utilización del biogás en motores diesel para generación de electricidad ha demostrado importantes beneficios económicos además de las ventajas anteriormente mencionadas.

Para cada situación hay un modelo de planta que se adapta mejor.

Es necesario realizar un estudio para conocer en cada caso las posibilidades técnicas y económicas.

## BIBLIOGRAFÍA.

Schemelkes, C. (2002), *Manual para la elaboración de ante proyectos e informes de investigación (TESIS)*, México: Oxford,

Megyesy, A (1989), *Manual de recipientes a presión: Diseño y cálculo*, México: Limusa

Fondo educativo Interamericano, (1976), *Química orgánica de metano a macromoléculas*, Bogotá

FAO, (1983), *El biogas; producción y utilización*, Roma

FAO, (1986), *El biogas 2 construcciones de unidades perfeccionadas*, Roma

[http://www.tecnologiadesarrollo.tk/Biodiesel en Uruguay](http://www.tecnologiadesarrollo.tk/Biodiesel%20en%20Uruguay)

<http://www.biodiesel-uruguay.com>

<http://www.phytoma.com/>

<http://afexparachicos.tripod.com/biogas.htm>

<http://www.energias-renovables.com><http://www.energias-renovables.com/> -

Revista de Actualidad sector Renovables

<http://www.ecologistasenaccion.org/>

<http://www.energias-renovables.com/>

<http://www.sagarpa.gob.mx>[http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/rccpn/rcpp.ht](http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/rccpn/rcpp.htm)

[m](#)