



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE GAS METANO A PARTIR  
DE DESECHOS ORGÁNICOS PARA PONER EN MARCHA VARIOS SISTEMAS EN  
LA ZONA RURAL DE TURBANA

Herrera Vidal, Hernando  
Hurtado Rosales, Fabián  
Ladino Blanco, Eduard

Ramos, Justo  
Director

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERO MECÁNICO  
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.  
2000

## INTRODUCCIÓN

En Colombia la mayoría de las zonas rurales presentan muchas deficiencias en cuanto a los servicios se refieren, principalmente el uso de la energía, trayendo muchas veces como consecuencia que se mal gaste el tiempo en la consecución de esta, ya sea de manera directa o indirecta, afectando en muchas ocasiones a la población infantil pudiendo aprovecharse este tiempo en otras actividades mucho más productivas.

Uno de estos lugares es la zona rural del municipio de Turbana, donde es muy difícil el acceso de estos privilegios; es por esto, que nuestro diseño esta basado en la solución de este problema, utilizando para esto el aprovechamiento de los desechos orgánicos producidos por el ganado vacuno, equino y porcino principalmente; para la producción de gas metano mediante un proceso físico químico, y por medio de este producir la energía necesaria para la puesta en marcha de diferentes sistemas que mejoraran las condiciones de vida.

Uno de los factores de mayor importancia en la salud del individuo y la colectividad es la correcta disposición de las heces humanas. Muchas enfermedades, tales como tifoidea (gripa), la disentería y varios tipos de diarrea se transmiten de persona a persona por medio

del agua o alimentos contaminados. Los sitios de incorrecta disposición final de aguas negras, son frecuentes fuentes de contaminación. Un método seguro y eficaz de disposición de aguas negras debe reunir las siguientes condiciones:

- No debe contaminar ninguna fuente de aguas claras;
- No debe ser accesible a ninguna clase de insectos, roedores y animales;
- No debe producir olores ni aspectos ofensivos a la vista;
- No debe violar ninguna de las regulaciones consignadas en el código sanitario.

El método más indicado para la disposición final de las aguas negras es el uso de un alcantarillado de correcto diseño y funcionamiento. Sin embargo, en las zonas rurales y en muchas suburbanas en donde no sea posible disponer de este método, el tanque séptico constituye un conveniente sustituto para casas, escuelas, residencias y otros inmuebles destinados a la habitación o permanencia de personas. La conveniencia de adoptar el sistema de tanque séptico para disposición final de los desperdicios, se determina por variados factores, tales como la situación, magnitud y topografía del área disponible, las condiciones de permeabilidad del suelo, la posición del nivel freático, etc.

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1. TEORIA FUNDAMENTAL DE LOS BIODIGESTORES.**

Los residuos de cocina, con la adición optativa de estiércol de las gallinas o de otros animales, al cabo de un cierto tiempo se transforman, si la mezcla esta realizada correctamente, en una sustancia uniforme, oscura, crujiente y con aspecto de turba, conocida como abono.

Esta transformación se realiza mediante una bacteria que se encuentra en el estiércol, que algunas veces se coloca en capas sucesivas en la mezcla entre los residuos de las plantas, y Otras se introducen en el abono. La bacteria se alimenta de la sustancia de las plantas, transformando las complejas moléculas en componentes mucho más simples. Durante todo el proceso, el nitrógeno contenido en las plantas se oxida en presencia del oxígeno del aire, para transformarse en nitratos y nitritos solubles, y el carbono en dióxido de carbono. Los nitritos y nitratos solubles se devuelven al estiércol cuando se emplea el abono, en tanto que bióxido de carbono desaparece en la atmósfera; todos ellos vuelven a utilizarse en el ciclo de la vida de las plantas.

No obstante, si se excluye el aire en la mezcla del abono, son otro tipo de bacterias las que empiezan a descomponer las plantas y el estiércol, bacterias que pueden vivir sin oxígeno.

Este proceso se asocia en general a los malos olores y la putrefacción que puede tener lugar cuando una mezcla de abono de jardín y, en especial, aquel que contiene residuos de cocina, posee ventilación insuficiente. Al no disponer de suficiente presencia de oxígeno para realizar por completo la oxidación del carbono y el nitrógeno liberado durante el proceso de descomposición, los productos resultantes contienen amoníaco, nitrógeno, metano y dióxido de carbono, pues los tres primeros necesitan oxígeno adicional para poder completar el proceso de oxidación. Pero si se eleva el metano a una temperatura de 245 a 400 °C en el aire, este se inflama y completa el fenómeno de oxidación, transformándose en dióxido de carbono y agua, a medida que se quema en el aire y, al mismo tiempo, desprende calor. Por lo tanto, si el hombre es capaz de interrumpir el proceso de descomposición, puede recoger el metano y utilizarlo como carburante, sin que con ello quede modificado el ciclo.

El proceso de descomposición de las aguas residuales en ausencia de oxígeno, que es similar a la mezcla obtenida mediante la descomposición de residuos vegetales y estiércol, se utilizó en primer lugar descomponiendo aproximadamente el 80% de la materia orgánica y destruyendo casi todas las bacterias perjudiciales. Al llegar a la planta depuradora, las aguas residuales pasan lentamente a través de los tanques de sedimentación, en los que se deposita la materia sólida. Tras el proceso de consolidación, esta materia sólida se bombea hasta unos cuantos depósitos calientes llamados digestores de residuos, en los que tiene lugar la descomposición o digestión. Los tanques se calientan, ya que la

mayor composición de metano durante el proceso de descomposición tiene lugar a la temperatura superior al ambiente. Se recoge el gas producido y se almacena en pequeños depósitos de gas quemándose automáticamente cualquier exceso de gas existente.

El tipo de biodigestor que proponemos es de carga continua. A este tipo de digestor se les añade diaria o casi diariamente pequeñas cantidades de residuos, formados generalmente por estiércol compactado hasta tener consistencia cremosa. Se organiza el sistema de forma que cada nueva adición de materia desplace una cantidad equivalente de residuo elaborado, manteniéndose de este modo estable la proporción de producción de gas.

Este tipo de proceso continuo no resulta muy adecuado para los residuos vegetales, dado que aquellas partes que no se digieren se acumulan en la superficie de la masa viscosa en forma de espuma y, si esta no se elimina, la capa va en aumento, hasta que dificulta el proceso de digestión y cesa la producción de gas. Todo digestor de carga continua necesita con el tiempo para el proceso para permitir su limpieza de forma que sea posible eliminar toda la espuma y las materias no digeridas. Para evitar la formación de la espuma los digestores van generalmente provistos de algún tipo de mecanismo agitador de los líquidos, si bien en los digestores pequeños el mero hecho de bombear a diario los residuos puede resultar suficiente para agitar la espuma. En los grandes, los líquidos deben agitarse de 15 a 20 minutos diarios.

Los residuos vegetales pueden ser triturados en trituradoras y utilizados en un sistema de

carga continua, si bien el sistema funciona mejor si se utiliza únicamente estiércol mezclado con heno triturado, y contando con la posible adición de residuos humanos, siempre que pueda controlarse la cantidad de agua que deba añadirsele.

Los digestores de carga continua pueden ser de varios tipos: verticales, con una o dos cámaras, como los utilizados habitualmente en la india, o bien horizontales, como el utilizado en nuestro proyecto. El tamaño real de cada uno de los tipos de biodigestores, de carga continua, se determina a partir de la cantidad de carga y del tiempo de residencia.

Este tiempo depende a su vez del tipo de materia utilizada, de la temperatura de los materiales en digestión y de la proporción de producción de gas. El peso exacto del abono obtenido depende del contenido de humedad y del grado de compacidad.

En los digestores de desplazamiento horizontal los residuos se van desplazando lentamente a lo largo del depósito a través de la zona de máxima actividad bacteriana, para salir después al otro extremo completamente digeridos; durante el proceso se va formando lentamente una capa de espuma en la superficie de los residuos. Cuanto mayor sea la superficie de este tipo de digestor de aporte continuo se necesitara mas tiempo para que se pueda crear una capa de espuma que impida el desarrollo del proceso.

## **1.2. FUNCIÓN DEL BIODIGESTOR.**

Se procura obtener soluciones factibles para el aprovechamiento de los residuos agropecuarios y de la basura orgánica domiciliaria, a través del desarrollo de "Tecnologías Apropriadas" a las posibilidades económicas y necesidades de los posibles usuarios o beneficiarios de tales sistemas para la producción de energía renovable y saneamiento.

En este sentido, el tratamiento biológico por digestión anaeróbica, en virtud del avance logrado en las últimas décadas en el conocimiento de la microbiología del proceso, presenta singulares posibilidades al producir como subproductos útiles, biogás combustible y fertilizante orgánico, y al consumir un mínimo de energía en el proceso, posibilitando su uso de manera racional. Constituye, en consecuencia, la digestión anaeróbica, una alternativa válida para producir en forma descentralizada un combustible renovable y estabilizar los residuos orgánicos. El residuo sólido digerido que se extrae del biodigestor constituye una enmienda orgánica de excelente calidad muy necesaria para la conservación de los suelos bajo cultivo intensivo.

Se obtienen así beneficios (biogás y fertilizante orgánico) redituables económicamente, desde desechos orgánicos sin valor y contaminantes, que permitirán con el tiempo amortizar la inversión realizada en las instalaciones de producción de energía y descontaminación.



### **1.3. PROCESO DE TRASFORMACION DE LAS MATERIAS ORGANICAS EN GAS METANO.**

Los residuos orgánicos son conducidos a un recipiente o cámara en el que se lleva a cabo el proceso que está a cargo de las bacterias anaeróbicas, es decir, que se producen con la ausencia del oxígeno.

La digestión anaeróbica de los materiales residuales tendrá lugar a temperaturas que oscilan entre 0 y 69 °C aunque la acción bactericida queda muy reducida por debajo de los 16°C. La producción de gas va habitualmente asociada a dos grupos de bacterias que se diferencian por el nivel de temperatura en el cual cada una de ellas entra en actividad. Las bacterias mesofílicas son activas entre los 29 y 41°C, y las termofílicas entre los 49 y los 60°C, aunque este último grupo es más sensible a cualquier fluctuación de la temperatura.

La producción estable óptima de metano tiene lugar entre los 32 y 35°C. La descomposición tiene lugar a dos niveles. En primer lugar, las complejas moléculas orgánicas de la materia residual se transforman en ácidos volátiles, entre ellos el ácido acético (vinagre). Solamente una vez que estos productos se han acumulado en suficiente cantidad tiene lugar la posterior descomposición, por medio de un grupo de microorganismos liberando metano, dióxido de carbono y restos de otros gases. Es este segundo grupo de bacterias el que es sensible a los cambios de temperatura.

Para fabricar ese biogás basta contar con agua residual, paja molida y estiércol de res.

El “biodigestor” es un recipiente hermético que almacena los gases que genera la fermentación de los materiales de desecho; tiene una capacidad de 7.0 m<sup>3</sup> de material de desecho y durante el proceso eleva la temperatura a 40 grados centígrados. Se emplea esta técnica de fermentación con la finalidad de producir biogás (gas metano), a partir de basura biodegradable, desechos agrícolas y estiércol de animales.

El biogás está compuesto del 53 al 70% de metano (similar al propano comercial), del 25 al 45 % de dióxido de carbono y de sulfato de hidrogeno.

Físicamente el “biodigestor” está formado básicamente por una pila de fermentación donde se da el mismo proceso que en los pantanos, en la profundidad se descomponen las materias orgánicas y al producirse el gas, éste sale a la superficie.

Este gas pasa a un tanque de almacenamiento y de ahí, por tuberías anticorrosivas pasa a las líneas de consumo que están provistas de válvulas de cierre colocadas estratégicamente. También como subproductos se obtienen residuos líquidos fuertemente septizados y residuos sólidos que pueden utilizarse como abono orgánico dado que los gérmenes patógenos se mueren por falta de oxígeno. Este abono residual es de mucha importancia ya que constituye un buen alimento para los huertos en los que se trabaja intensamente con el fin de conseguir verduras durante todo el año. El abono se deja reposar generalmente

antes de ser aplicado a la tierra de sembrado, de forma que todo el amoníaco que pueda contener, y que resultaría perjudicial para las plantas, pueda escaparse en el aire.

#### **1.4. FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCION DE GAS METANO.**

Los factores que influyen en la producción del gas metano son: temperatura, presión, Ph, velocidad de carga, tiempo de digestión y formación de natas.

**1.4.1. Temperatura.** Es uno de los principales factores que afectan la producción de gas metano, esta puede llevarse a cabo en un intervalo que va desde los 15 a 60 ° C.

La mayor actividad de producción de gas metano se encuentra entre los 28 y 42 ° C. Las bacterias que intervienen en la fermentación anaeróbica son muy sensibles a los cambios bruscos de temperatura y la producción puede disminuir hasta en un 50%, se recomienda mantener un rango de operación de 30 a 35 °C, para obtener una buena eficiencia.

**1.4.2. Presión.** La presión también es un parámetro fundamental en la producción de gas, y teniendo como base la presión atmosférica, una sobre presión de dos pulgadas de agua reduce la producción de gas en un 10%.

**1.4.3. PH.** Para que ocurra una adecuada formación de gas metano, el Ph debe ser de ligeramente alcalino. Si el equilibrio se pierde y la solución es más ácida, las bacterias

formadoras de metano se inhiben produciendo un aumento de bióxido de carbono disminuyendo su poder calórico. Esto puede ocurrir si se introduce exceso de material residual, ya que los ácidos volátiles se producen con mayor rapidez de lo que es capaz las bacterias generadoras de metano. La descomposición de parara hasta que se desarrollen mas bacterias y se restablezca el equilibrio. Esto también puede ocurrir por aumento brusco de temperatura.

El Ph puede aumentarse añadiendo fosfato de amonio o cal al contenido del biodigestor cuando esta se ha vuelto demasiado ácido.

**1.4.4. Velocidad de carga.** Los sólidos contenidos en el biodigestor son de mucha importancia a considerar:

El porcentaje optimo es del 10% y generalmente se tiene un porcentaje mayor, razón por la cual para llegar al rango de operación es necesario diluirlo con agua, en una proporción de 30 Kg. de estiércol con 90 litros de agua aplicados cada 24 horas.

**1.4.5. Tiempo de digestión.** El tiempo de digestión en un proceso continuo dura aproximadamente 30 días, y durante este tiempo los residuos originales se estabilizan convirtiéndose en un material inocuo y de color casi negro.

**1.4.6. Formación de natas.** En la superficie de la mezcla se tiene a formar una nata no

digerible, constituyéndose en un problema para la producción de gas. Debido a que el biodigestor es de carga continua, estas natas son evacuadas continuamente con el estiércol ya utilizado.

## **1.5. PARTES PRINCIPALES DEL BIODIGESTOR.**

**1.5.1. El tanque.** Es el que recibirá los estiércoles y consiste en un pozo rectangular en la tierra de 3 m. de largo con 2 m. de ancho y 1.8 m. de profundidad, revestido de ladrillo o bloques de cemento en forma piramidal de manera que no exista ninguna clase de desprendimiento de tierra que pueda impedir el proceso de generación de gas. Además este lleva un recubrimiento de plástico con el objetivo de que no ocurran filtraciones de la mezcla.

**1.5.2. Carpa.** Es de un material de polipropileno de doble capa para que pueda resistir cuando exista la expansión debido al gas. Esta se coloca de manera que cubra el pozo o el tanque, sirviendo así para aislarlo de la atmósfera y para obtener las condiciones indispensables de la fermentación. El gas empieza a presionar sobre la carpa la cual flota y sube. En la cima de la carpa se conecta un tubo de PVC con su respectiva llave de paso, acoplándole a esta una manguera de media pulgada de polietileno o de caucho la cual llevará el gas hasta la cocina, la lámpara y el moto-generator.

**1.5.3. El rebose del tanque para el abono.** El borde del digestor tendrá un pequeño rebose para dejar salir el abono ya digerido, el cual tiene consistencia de líquido espeso y sirve de abono a las plantas.

**1.5.4. Tanque de carga.** A la altura de la cabeza de la carpa se construirá el tanque de carga, de forma cúbica de 0.80 por 1.0 metro, con una profundidad de 1.0 metro, el cual recibirá el estiércol de los animales bien mezclados con agua para luego caer al fondo del digestor por un tubo de PVC de cuatro pulgadas.

**1.5.5. Sello de agua.** Consiste en una canal de forma trapezoidal de 0.60 m de base mayor y 0.26 de base menor con una profundidad de 0.60 m. alrededor del biodigestor, la cual se llenara con agua que servirá de sello para que no se escape el biogás a la atmósfera. Esta presenta un recubrimiento de impermeabilizante sika 101 con el fin de evitar que el agua se filtre a través de las paredes de esta.

**1.5.6. Unidad de conducción del gas.** Esta formada de dos partes:

La primera es una tubería flexible que va desde la salida del biodigestor hasta un tubo PVC de 1 ½ pulg. Con el fin de permitir el libre movimiento de la carpa.

La segunda en tubería PVC de 1 ½ pulg. en la cual se instalaran instrumentos de medición y control para controlar el flujo de gas hacia los quemadores.

Los instrumentos de medición y control son:

**1.5.6.1. Termómetro.** Colocado a la salida del biodigestor nos indica la temperatura en la cual se está llevando el proceso de transformación de la materia orgánica sólida en gas metano.

**1.5.6.2. Trampa de desechos.** Es un depósito plástico con una capacidad más o menos de 23 litros, que tiene por objeto de atrapar los desechos que llegan junto con el gas procedente del digestor; estos a la vez son vertidos en un cubo desenroscando el tapón del depósito.

**1.5.6.3. Vasija indicadora de flujo.** Es una vasija elaborada en vidrio con el objetivo de observar la producción de gas a través de las burbujas que circulan por el agua.

**1.5.6.4. Válvula de seguridad.** Es una vasija llena con 4 pulg. de agua a la cual entra una derivación de la tubería principal de gas y que funciona dejando escapar el gas en determinado momento que se produzca una presión mayor que la columna de agua.

**1.5.6.5. Trampa de condensado.** Usada para extraer todo el condensado que se pueda producir en la línea de gas.

**1.5.6.6. Trampa de llama.** Es una precaución que debe tomarse para evitar explosiones

accidentales. Consiste en un tubo de PVC, en el cual se introduce una esponjilla de acero; esta evitara un reflujo de llama y además evitara el oxido de los quemadores de la estufa.

### 1.6. COSTO DE INSTALACION DE LA PLANTA.

A continuación se presentan los precios de los materiales utilizados para la construcción del biodigestor en la comunidad de Turbana. Los mismos pueden variar un poco, dependiendo del tamaño y el diseño que se quiera usar. Los materiales aquí señalados son para un biodigestor de 2.0 m de ancho por 3.0 m de largo y 1.8 m de profundidad.

**Cuadro 1.** Costo de materiales utilizados en el biodigestor.

<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO (PESOS)</b>	<b>COSTO(DOLARES)</b>
Cemento	5 bolsas	70.000	\$ 35
Zahorra	5 mts <sup>3</sup>	60.000	\$ 30
Ladrillo H4	30	12.000	\$ 6
Varillas 3/8	16 mts	40.000	\$ 20
Tubería PVC 4"	12 mts	20.000	\$ 10
Tubería PVC 1/4"	20 mts	10.000	\$ 5
Arena	1 1/2 mts <sup>3</sup>	24.000	\$ 12
Codo 45	2	3.500	\$ 2
Malla gallinero	15 mts	36.000	\$ 18
China	1 mt <sup>3</sup>	28.000	\$ 14
Sika 101	50 Kg.	30.000	\$ 15
Plástico	19 mts	27.000	\$ 13
Carpa	1	150.000	\$ 75
Clavos	2 Kg.	5.000	\$ 2.5
Mano de obra	10 días	300.000	\$ 150
Transporte		500.000	\$ 250
<b>TOTAL</b>		<b>1'316.000</b>	<b>\$ 657,5</b>



## **2. GENERALIDADES DEL BIOGAS**

Como es bien sabido, el Biogás es un hidrocarburo compuesto básicamente por metano y gas carbónico ambos le dan las características a este combustible.

Los vapores del Biogás, son más ligeros que el aire, por lo que al escaparse el gas, tenderá a elevarse y disiparse en la atmósfera, disminuyendo el riesgo en su uso. La densidad relativa del Biogás en promedio es de 0.60, característica que permite manejarlo con gran seguridad.

El Biogás en su estado natural no tiene color ni olor, por lo que se requiere como primera medida de seguridad el adicionarle a éste un olorante, con la finalidad de presentar el olor característico y penetrante. Los odorantes más comúnmente utilizados están elaborados en base a mercaptanos, los cuales no modifican las características del gas.

Si colocamos una pequeña cantidad de gas en una atmósfera cerrada de aire y se intenta encender la mezcla, se observa que solamente en contados casos tiene lugar explosión o combustión. Como resultado de lo anterior, se puede observar que para un gas o mezcla de gases existen límites muy discretos en que se produce combustión.

La amplitud de los límites de inflamabilidad está determinada por muchos factores tales como El índice de reactividad química, La conductividad térmica, La estabilidad del

componente combustible, Velocidad molecular y el Calor desarrollado en la reacción.

El gas metano ha ganado terreno frente a otras fuentes de energía primaria como el carbón, combustibles líquidos, la hidroelectricidad y la energía nuclear.

El gas metano se destaca como un combustible ampliamente disponible y económico más apropiado para la protección del ambiente y sus características lo ubican como el energético del futuro. Es la alternativa energética más económica, segura y confiable. Se distribuye de manera directa a través de redes de tuberías; el suministro es continuo y confiable.

Su uso le permite importantes ahorros en la factura de energía y en mantenimiento de equipos.

Manteniendo unas condiciones optimas de funcionamiento del biodigestor, generalmente se tiene la siguiente composición del biogás.

Su poder calórico es de  $5340 \text{ Kcal/m}^3$  y la producción es de  $0.28 \text{ m}^3$  por  $0.5 \text{ Kg.}$  de material utilizado.

El biodigestor propuesto por nosotros tiene una producción de  $5 \text{ m}^3/\text{días}$  de gas en condiciones optimas de funcionamiento.

**Tabla 1.** Porcentaje de volumen de diferentes gases contenidos en el biogás.

	% Volumen
Metano CH <sub>4</sub>	55 – 65
Dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	34 – 45
Nitrógeno N <sub>2</sub>	0 – 3
Hidrogeno H <sub>2</sub>	0 – 1
Sulfuro de Hidrogeno H <sub>2</sub> S	0 – 1

## 2.1. USOS TRADICIONALES.

Como combustible para la generación de calor, fundición de materiales ferrosos y no ferrosos, secado y calentamiento en general y generación de electricidad.

Como materia prima en el sector siderúrgico, en el petroquímico y en la industria manufacturera.

## 2.2. NUEVOS USOS.

Acondicionamiento de ambientes a gas que le asegura confort y eficiencia con bajos costos de mantenimiento, en sistemas de absorción y en sistemas tradicionales con motorización a gas metano.

Como combustible vehicular, permite reducir costos de mantenimiento y ahorros en combustibles.

Generalizando, podemos decir que el consumo de biogás para los diferentes usos es el siguiente:

**Cuadro 2.** Consumo de biogás en diferentes mecanismos.

Sistemas de absorción	2.80 m <sup>3</sup> / día
Alumbrado	0.25 m <sup>3</sup> / día
Estufa	0.14 m <sup>3</sup> / día
Motor	0.50 m <sup>3</sup> /Hp hr

### 3. PRODUCCION DE GAS METANO

En este capítulo se presenta las condiciones de operación del biodigestor y especificaciones para la construcción de la planta generadora de gas.

#### 3.1. CONDICIONES DE OPERACIONES EN EL BIODIGESTOR.

Aquí se establecen las condiciones para un óptimo funcionamiento y trata sobre la mezcla agua – estiércol, temperatura en el biodigestor, presión del gas y Ph de la materia digerida.

**3.1.1. Materia prima.** El estiércol procede de las gallina, del ganado equino y en su mayoría del ganado vacuno. La carga del biodigestor se efectúa diariamente en una proporción de 30 Kg. de estiércol con 90 litros de agua.

**3.1.2. Temperatura en el biodigestor.** La temperatura mínima fuera del biodigestor es de 25 °C y máximo de 32 °C. Dentro del biodigestor se encontró una temperatura mínima de 35 °C. Experimentalmente se conoce que a 27 °C, 0.0283 m<sup>3</sup> de estiércol húmedo producen 1.132 m<sup>3</sup> de gas en aproximadamente 40 días.

La producción de gas es mayor a temperaturas mas altas, inhibiéndose a temperaturas por debajo de 28 °C.

**3.1.3. Presión en el biodigestor.** La presión del biodigestor es mantenida de manera uniforme por la válvula de seguridad, que consiste en una columna de 4 pulg. de agua, que nos garantiza el buen funcionamiento de los quemadores en la estufa.

**3.1.4. Ph.** Para obtener el rango de Ph recomendado se adicionaron 50 gramos de cal diluidos con la mezcla de carga cada dos días durante el periodo de llenado del biodigestor.

### **3.2. ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCION DEL BIODIGESTOR.**

Se conoce experimentalmente que para un moto-generator se necesita  $0.5 \text{ m}^3/\text{hp.hr}$  de gas; fundamentándonos en estos experimentos, nuestra planta fue diseñada para producir  $5 \text{ m}^3$  /día de gas, lo cual quiere decir que tendríamos que almacenar el gas en un recipiente a presión por medio de un compresor que succione directamente del biodigestor hasta la presión atmosférica y descargue en un tanque de acuerdo a la presión máxima de descarga de este, podríamos tener trabajando un moto-generator que genere 1 Hp/hr durante 10 horas.

### **3.3. FUNCIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR.**

Inicialmente se introdujeron 20 Kg. de estiércol con 60 litros de agua durante los 10 primeros días para evitar que se produjera una solución ácida, pasado este tiempo se aumento la carga a 30 Kg. de estiércol con 90 litros de agua diariamente.

La producción de gas se inicia después de 15 días de iniciada la operación. Es conveniente añadirle a la mezcla 50 gramos de cal cada dos días para mantener el rango óptimo de Ph hasta que se produzca el funcionamiento continuo del biodigestor.

El mantenimiento del biodigestor se realiza de manera periódica anualmente, y consiste básicamente en la limpieza interior de este y para colocarlo nuevamente en funcionamiento se realizaría de manera similar a la que se hizo inicialmente.

#### **3.4. CONTROL ESTADISTICO DE CARGA DEL BIODIGESTOR.**

Estuvo de acuerdo a la cantidad diaria de estiércol medido en Kg. de los diferentes tipos de animales con que se disponía en la finca. Se trato en lo posible de combinar estos estiércoles y conocer de manera experimental cual de ellos era el mejor para lograr que la producción de biogás fuera lo más eficiente, pero fue muy difícil debido a que todos estos se encontraban mezclados de manera uniforme. Por estudios realizados se sabe que el estiércol de las aves es el que produce mayor cantidad de bogas en el menor tiempo posible, teniendo como inconveniente que la producción de esta boñiga era de la que disponíamos en menor cantidad. También es de conocimiento nuestro que el estiércol con mayor poder calórico es el del ganado porcino y al no contar con este en la finca se



reemplazo por estiércol de ganado equino.

La tabla que a continuación presentamos fue elaborada de acuerdo a instrucciones que se le dejaron al capataz de la finca con relación a la carga del biodigestor.

### 3.4.1. Cantidad de estiércol usado de diversos animales.

**Cuadro 3.** Cantidad de estiércol usado de diversos animales.

Días	JUNIO			JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE		
	V	G	B	V	G	B	V	G	B	V	G	B
1	20						30			30		
2	20			30			30			30		
3	20			20		10	30			20	10	
4	20				10		30			20		10
5	10	10					30			30		
6	10		10	30			30			30		
7	10		10	30			30			30		
8	10		10	30			30			10	10	10
9	10		10	30			30			20	10	
10	20			30			30			30		
11	20		10	30			30			30		
12	30			10	10		20	10		30		
13	30					10				30		
14	30						30			30		
15	30			30			30			30		
16	30			30			30			30		
17	30			30			30			30		
18	30			30			30			30		
19	30			30				10		30		
20	30			30					10	20	10	
21	30			30						30		
22	20	10		30				10		30		
23	10		20	30			30			20	10	
24	30			30			30			20	10	
25	30			30			30			30		
26	20	10		30			30			30		

<b>27</b>	30			10		20	30			30		
<b>28</b>	30			30			30			30		
<b>29</b>	30			30			30			30		
<b>30</b>	30			30			30			20		10
<b>31</b>				30			30			30		

V = Vaca

G =Gallina

B = Burro

Cantidades en Kilogramos

La tabla anterior muestra la cantidad de estiércol utilizado de diversos animales, y fue llenada día a día durante los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre, teniendo en cuenta que la relación de la mezcla es de 3:1 o sea por cada tres partes de estiércol una de agua.

Inicialmente se presentaron una serie de inconvenientes, como lo fue la escasez de agua en la zona, por lo cual se puede observar que durante los primeros 10 días se introdujeron solamente 20 Kg. de estiércol con 60 litros de agua, conservando la relación.

El anterior inconveniente nos ayudo, para evitar que se produjera una solución ácida, pasado un tiempo se puede observar que se aumento la carga una vez provinieron las lluvias, y se aumento la carga para estabilizar la relación e iniciar la producción de biogás a partir de los 15 días de comenzada la operación.

La finca presenta mayor cantidad de ganado vacuno, es por esto, que en la

**en la tabla se observa esta clase de estiércol en mayor cantidad.**

#### **4. COMPRESORES DE GAS**

Los compresores suelen ser aparatos costosos, un componente crítico en un proceso y una parte del equipo difícil de especificar y de comprar debido a las muchas opciones que se tienen en el mercado.

Debido a que cada tipo de compresor tiene características específicas, primero se necesita entenderlas. Después, se tienen en cuenta los factores que intervienen en la decisión final de compra del compresor y sus auxiliares.

##### **4.1. TIPOS DE COMPRESORES.**

Hay dos métodos mecánicos básicos para aumentar la presión de un gas: reducir su volumen y aumentar su velocidad, de modo que la energía de velocidad se pueda convertir en presión.

Los compresores de desplazamiento positivo que aumentan la presión mediante la reducción de volumen son:

- Compresores reciprocantes.

Tienen un pistón que se mueve dentro de un cilindro.

- Compresores de espiral rotatoria.

En los cuales se comprime el gas entre dos hélices rotatorias acopladas y la carcasa del compresor.

- Compresores de lóbulo rotatorio.

En los cuales el gas se empuja por medio de lóbulos acoplados

- Compresores de aspas deslizables.

En los cuales un cuerpo o rotor excéntrico en el cual se deslizan las aspas selladoras giran dentro de una carcasa.

- Compresores de flujo radial.

Llamados generalmente centrífugos.

#### **4.2. CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN.**

No todos los compresores se fabrican en todas las gamas de presión y volumen. En la Grafica 1. se indican las capacidades de los compresores reciprocantes, centrífugos, de espiral rotatoria y de aspas deslizables. La aplicación más común se indica con la zona de sombreado más oscuro.

##### **Gráfica 1.** Capacidad de diferentes tipos de compresores.

Antes de seleccionar un tipo de compresor, se debe decidir cuantos se necesitaran para manejar la carga del proceso. Durante muchos años se utilizaban compresores reciprocantes para casi todas las aplicaciones; como eran de capacidad baja, se necesitaba una batería de ellos en las plantas grandes. Conforme se fueron mejorando la capacidad y la confiabilidad, la tendencia fue instalar dos compresores, cada una con 55% o 60% de la

capacidad y, a veces, un tercero para reserva.

El compresor de reserva aseguraba el funcionamiento a plena capacidad, pero representaba un costo adicional del 50% aproximadamente. Si no se tuviera el compresor de reserva pero hubieran dos de la mitad de la capacidad cada uno, hay una seguridad razonable de funcionamiento continuo. Esto era de particular importancia si en el proceso se utilizaba equipo, como hornos, que no se podían parar con frecuencia. Algún tiempo después, para aprovechar la mayor capacidad de los compresores, se alimentaban varios servicios desde uno de ellos.

La situación ha cambiado un tanto desde que se están utilizando mas compresores centrífugos. El tiempo perdido por reparaciones en los rotatorios es menor que en los reciprocantes; por lo tanto, en muchos casos, un solo compresor centrifugo puede ser suficiente.

Pero se debe tener en cuenta que la reparación o reacondicionamiento de un centrifugo lleva mucho más tiempo que en un recíprocante, salvo que se tenga un rotor completo para repuesto.

Además, la estructura de precios de los compresores centrifugo es muy distinta de la de los reciprocantes. Como primera aproximación se puede suponer que, al utilizar un compresor

reciprocante de la mitad del tamaño, el costo también se reducirá a la mitad. Sin embargo, reducir a la mitad el tamaño de un compresor centrífugo pequeño, es posible que solo baje el costo un 20%, y en uno grande, esa reducción en tamaño puede que solo disminuya su costo un 30%.

Además, por su característica de operación plana, cuando se operan compresores centrífugos en paralelo, pueden ocurrir oscilaciones, salvo que se tenga mucho cuidado para evitar la inestabilidad. Por esta razón, en muchas aplicaciones en las cuales es suficiente un compresor centrífugo, no se tiene uno de reserva, sino que puede adquirirse un rotor completo para repuesto.

No siempre es fácil elegir entre un compresor reciprocante y uno centrífugo, en particular para servicio con cargas elevadas y mediana capacidad, como en los campos de extracción de gas. Si se utilizan varios compresores reciprocantes, pueden ser de etapas múltiples para producir la carga deseada. Si se detiene uno, solo se reduciría la capacidad de la planta. Pero si hay varios centrífugos en serie, la falla de uno detendría todas las operaciones.

**4.2.1. Características de operación.** Un compresor de desplazamiento positivo tiene una curva de aumento de presión contra volumen que es casi vertical. No es completamente vertical debido a las holguras mecánicas, al deslizamiento y a las fugas desde la descarga hasta la succión y porque el deslizamiento se incrementa cuando aumenta la relación de

compresión. Este compresor puede producir cualquier carga de presión hasta el límite de su resistencia mecánica y de la capacidad de la unidad motriz. La capacidad es casi directamente proporcional a la velocidad.

Estas características establecen la sensibilidad del compresor a las variaciones en las condiciones de flujo. Por ejemplo, un cambio en la densidad del fluido que se bombea tendrá poco efecto en el volumen del gas que se mueve o la presión de descarga producida por el compresor, aunque habría que cerciorarse de que ningún componente sufra esfuerzos mecánicos excesivos. Cualquier variación en la densidad del gas que se comprime producirá un cambio proporcional a su peso.

**4.2.2. Consideraciones para la velocidad.** El tipo de unidad motriz (incluyendo los engranes) que se utilice puede influir en la elección del compresor. Las velocidades del compresor y de la unidad no son muy importantes si se desea evitar el engranaje. En la tabla 2. se indican los límites de velocidad de los compresores y unidades motrices más comunes; sin embargo, hay de diseño especial que no quedan dentro de los límites que se dan. Uno de estos, por ejemplo, es un compresor para dióxido de carbono con un volumen de succión de unos 50 ft<sup>3</sup>/min. reales en el último impulsor, que gira a 25000 r.p.m. y descarga el gas a 5000 psi. La velocidad en la punta del impulsor de este compresor es de unos 650 ft/s. La propulsión es con una turbina de vapor especial, de acoplamiento directo, de 1000 hp



**Tabla 2.** Límites de velocidad para compresores y unidades motrices.

TIPO DE COMPRESOR	LÍMITES NORMALES r.p.m.	OBSERVACIONES
Compresores reciprocantes grandes	300-600	Algunos incluso 1000-1500 r.p.m.
Compresores reciprocantes pequeños	1000-1500	
Espiral rotatoria	3000-10000	
Centrífugos para proceso	3000-12000	Algunos de alta HP Hasta 17000 r.p.m.
Centrífugos para aire, especiales de bajo volumen y alta carga	30000-50000	
Axiales	3000-6000	Algunos hasta 16000 r.p.m.
Motores eléctricos	3600 ó menos	

**4.2.3. Comparación de costos.** En términos muy generales, se puede estimar que el costo de un compresor recíprocante para presiones bajas y flujos grandes, es el doble de un centrífugo de la misma capacidad (Gráfica 2.). La diferencia en costo se reduce conforme

aumenta la presión o disminuye el flujo real. Con presiones altas y flujos pequeños, los costos pueden ser muy semejantes. Un compresor reciprocante necesita cimientos más fuertes, mayor protección contra la atmósfera en la que trabaje y diseño más cuidadoso de la tubería para evitar vibraciones y pulsaciones.

Con esa misma base general, se puede estimar que el costo de los compresores de espiral rotatoria y axial es casi el mismo o menor que el de los centrífugos. Para la mayor parte de sus aplicaciones idóneas, los costos de los compresores de espiral y axiales pueden ser más bajos.

**Gráfica 2.** Costo de compresores centrífugos y reciprocantes.

**4.2.4. Unidades motrices.** Los compresores pequeños suelen tener un motor eléctrico (con acoplamiento directo o transmisión con banda); para los medianos y grandes hay una amplia elección de unidades motrices que son: Motores eléctricos (síncronos, de inducción y de baja o alta velocidad); turbinas de vapor (de contra presión

**4.2.5. Adquisición de compresores.** Los sistemas de compresores y sus unidades

motrices pueden ser desde muy pequeños hasta muy grandes. Se pueden adquirir desde un compresor de los que tienen en existencia los proveedores, hasta sistemas de diseño especial para procesamiento de productos químicos, distribución de gas, refinación de petróleo y generación de electricidad.

Los artículos de línea solo requieren un poco mas que la especificación de los componentes y accesorios, pues el rendimiento aparece en las especificaciones publicadas por el fabricante. Por otra parte, en los sistemas de diseño especial, se necesita la definición de los requisitos de rendimiento de todo el sistema. También hay que especificar los componentes y accesorios para establecer el nivel de calidad del sistema y sus componentes, y definir el número y el tipo de elementos auxiliares, por ejemplo, enfriadores de aceite, regulador, bombas, etc. también puede ser necesario especificar controles, sistemas de rechazo de calor, unidades motrices, engranes, tubería, ductos y alambrado eléctrico (cable, conduit, charolas etc.).

También hay que aclarar si el compresor funcionara a la intemperie o bajo techo, a fin de tener en cuenta el espacio para la instalación y mantenimiento, control y aisladores del sonido y la corriente disponible en la zona.

**4.2.6. Especificaciones del sistema.** Hay que definir los requisitos para la función del compresor en el sistema global. Las especificaciones deben incluir:

- Límites de gasto de masa y volumétrico y la influencia que puede tener sobre ellos las variaciones en temperatura de entrada, la presión, el peso molecular, la composición del gas (carga de vapores, factor de compresibilidad, etc.), la presión de descarga, la temperatura y el flujo de los fluidos para el enfriamiento (agua, aire y otros).
- Condiciones de arranque, reserva y paro del compresor y de todo el sistema.
- Mención aun de huellas de vapores, gotitas de líquido, polvos o gases que pueden tener escasa importancia para la química del proceso, pero que pueden ocasionar obstrucción, formación de gomas, problemas con los sellos etc., ya sea por si mismos o cuando se mezclan con lubricantes o líquido para sellos. Estos factores pueden influir en forma apreciable en la selección del compresor.
- Tipo de corriente eléctrica disponible en la zona

#### **4.3. COMPRESOR SELECCIONADO.**

Basándonos en las consideraciones para la selección de un compresor, en las gráficas y teniendo en cuenta algunas restricciones propias del lugar donde se va a poner en marcha el compresor, se optó por escoger un compresor reciprocante o uno rotatorio de aspas

deslizables.

- Compresores de aspas deslizables.

Este tipo de compresor posee un rotor con varios alabes, mantenidos en su lugar por resortes o fuerza centrífuga. Cuando el rodete gira en el cilindro el vapor en la succión es atrapado en el espacio de forma creciente entre los dos alabes. Cuando el rotor continua rotando el gas de succión se comprime en volumen, y su presión y temperatura se incrementan hasta que se descarga el cilindro.

**Figura 1.** Compresor de aspas deslizables.

Una película de aceite evita fuga de vapor del cilindro o entre los espacios separados por los alabes. Mientras la unidad esta en operación. Para evitar que el gas caliente que fluye del cilindro por la puerta de descarga cuando esta encubierta por el rodete se fugue, una válvula cheque se coloca usualmente en la línea de descarga. Durante el periodo de control o periodo de parada se evita que el gas caliente retorne, mediante la válvula cheque. Este estilo de compresor puede producir hasta 50 psig por etapa, y esta disponible con dos etapas, para presiones hasta de 125 psig. Sus capacidades son de 1500 a 2000 ft<sup>3</sup>/min. y también se pueden emplear como bomba de vacío.

En las industrias de procesos químicos los tipos de lóbulos y de aspas tienen aplicación limitada porque producen presiones bajas y solo se pueden obtener, en general, con carcasas de hierro fundido, que los hacen inadecuados para ciertos gases corrosivos o peligrosos.

- Compresores reciprocantes.

Este tipo de compresor abarca desde una capacidad muy pequeña hasta unos 3000 PCMS. Para equipos de proceso, por lo general, no se utilizan mucho los tamaños grandes y se prefieren los centrífugos. Si hay alta presión y un gasto más bien bajo, se necesitan los reciprocantes. El número de etapas o cilindros se debe seleccionar con relación a las temperaturas de descargas, tamaño disponible para los cilindros y carga en el cuerpo o biela del compresor.

Los tamaños más bien pequeños, hasta de un 100 Hp, pueden tener cilindros de acción sencilla, enfriamiento con aire y se puede permitir que los vapores del aceite en el depósito (carter) se mezclen con el aire o gas comprimido. Estos tipos solos son deseables en diseños especiales modificados.

Los tipos pequeños para procesos, de un cilindro y 25 o 200 Hp, tienen enfriamiento con agua, pistón de doble acción, prensaestopas separados que permite fugas controladas y

pueden ser del tipo no lubricadas, en el cual el lubricante no toca el aire o gas comprimido.

Se utilizan para aire, para instrumentos o en aplicaciones pequeñas para gas de proceso.

Los compresores más grandes para aire o gas son de dos o más o dos cilindros. En casi todas las instalaciones, los cilindros se disponen en forma horizontal y en serie de modo que presenten dos o más etapas de compresión. El número de etapas de compresión depende en gran parte de la elevación de temperatura en una etapa, que suele estar limitada a unos 200 °F; de la carga en el cuerpo o biela que se puede manejar y, de vez en cuando, el aumento total en la presión en una etapa, respecto del diseño de las válvulas del compresor, que suelen ser para menos de 1000 psi.

La relación o razón total de compresión se determina para tener una idea inicial aproximada al número de etapas. Si la relación es muy alta, entre 3.0 y 3.5 para una sola etapa, entonces la raíz cuadrada de la relación total será igual a la relación por etapa para las dos etapas, a la raíz cúbica para tres etapas, etc. las presiones inter etapas y la relación por etapa reales se modificarán después de tener en cuenta las caídas de presión en inter enfriadores, tuberías entre etapas, separadores y amortiguadores de pulsaciones si se utilizan.

#### **4.3.1. Características del compresor seleccionado.**

**Figura 2.** Compresor reciprocante.

Optamos por escoger un compresor reciprocante, el cual tiene una capacidad de 50 psi de descarga y funciona con corriente directa alimentado con una batería de 12 voltios, la cual es recargada con un alternador acoplado por medio de una correa al moto-generador.

La eficiencia de este compresor es mucho mayor que la de un compresor centrifugo quizá entre 5% y 20%.

Este compresor posee cimientos mas fuertes y mayor protección contra la atmósfera en la cual trabaja, teniendo como inconveniente que se necesita un diseño mas cuidadoso para evitar vibraciones y pulsaciones en las tuberías.

El limite normal de velocidad de este compresor esta comprendido entre 1000 y 1500 r.p.m.

También hay que aclarar que el compresor funcionara a la intemperie, por lo cual hay que



tener en cuenta el espacio para la instalación, mantenimiento, control y aisladores de sonido.

Para este compresor, se puede especificar una capacidad garantizada con tolerancia no negativa, así como un caballaje máximo y una velocidad especificada. Este compresor a la vez es movido por un motor eléctrico.

El sistema de enfriamiento es realizado por medio del aire que pasa a través de las paletas instaladas en el cuerpo del compresor.

Los vapores del aceite en el carter se mezclan con el biogás comprimido por cual será necesario implementar un sistema o trampa de aceite para que este sea separado del biogás y pueda retornar al compresor.

## **5. EQUIPO PARA COCCIÓN**

Este es el sistema primario de utilización del biogás, pero se tienen que tener algunas consideraciones para que se produzca una adecuada combustión.

Se debe eliminar como primera medida el vapor de agua haciendo pasar el gas a través de un elemento desecante tal como el cloruro cálcico y de este modo se evita que se produzca

algún tipo de condensación en el conducto del gas.

El cloruro cálcico puede regenerarse mediante el calor con el fin de eliminar el agua absorbida. Pero incluso después de estar libre de vapor de agua, el biogás necesita una presión mínima para una correcta combustión.

Por medio de ensayos hechos a diferentes presiones se llegó a la conclusión que una presión de cuatro pulgadas de agua satisficará de manera optima este requerimiento a la vez que es la misma que se utiliza para poner en marcha el moto-generator.

Para el funcionamiento de la estufa se utilizo un quemador igual al que se usan en las estufas de gas natural y antes del quemador se encuentra localizada una válvula la cual debe permanecer cerrada mientras no sé este haciendo uno de esta.

El consumo de gas promedio por comida es  $0.14 \text{ m}^3$ .

## **6. EQUIPO PARA LA ELIMINACION DE GASES ACIDOS Y GASES NO COMBUSTIBLES**

Con el fin de evitar que se produzca algún tipo de corrosión en los equipos utilizados causada principalmente por los gases ácidos, se diseño un filtro por donde pasa el gas, y en el cual se retiran los gases que pueden ser dañinos y aquellos que no entran en la

reacción de combustión.

## **6.1. DESCRIPCIÓN.**

El filtro consiste de un tanque de neutralización y un tanque de oxidación. En el tanque de neutralización, los gases pasan por una solución alcalina (agua con hidróxido de sodio). Los gases ácidos, que todavía quedan después que tienen contacto con la solución, reaccionan en el tanque de oxidación con limadura de hierro y cal. A continuación se describen los pasos para la construcción del filtro.

**6.1.1. Especificaciones y fundamentos de los tanques.** El fundamento es una plataforma de hormigón, 3 m de largo y 1 m de ancho. Encima de este fundamento se construyen los 2 tanques:

- **Tanque de neutralización**

El tanque tiene las dimensiones 1,20 m de largo, 1,00 m de ancho y 1,00 m de alto, y es

hecho de ladrillo revestido. En su interior tiene un sistema de laberinto por la cual se hace pasar el gas, para que entre en contacto con la solución alcalina.

- Tanque de oxidación.

El tanque de oxidación tiene las medidas de 1,80 m de largo, 1,00 m de ancho y 1,00 m de alto y es hecho de ladrillo revestido. El tanque de oxidación tiene en su parte superior una tapa de mantenimiento de 70 x 70 cm. , lo que permite controlar el estado del medio oxidante (limadura de hierro y cal) y su eventual reposición.

En la parte inferior el tanque tiene un tubo de desagüe, en caso de que con el tiempo se acumulara agua en el tanque, proveniente del tanque de neutralización, o de la humedad de los gases.

**6.1.2. Sistema de laberinto dentro del tanque de neutralización.** Con la finalidad de aumentar el tiempo de contacto entre la solución alcalina y los gases, se instala en el interior del tanque un sistema de laberinto, dividiendo el volumen en tres sectores de 40 cm de ancho cada uno. Para la separación de los sectores se puede utilizar planchas "Fibrolit" de 8 mm de espesor, encementados en la pared.

Estas planchas (con fibras sintéticas sin asbesto!) son resistentes al agua y por esta

característica frecuentemente utilizadas para las celdas de precipitación de la cianuración.

**6.1.3. Medio alcalino.** Como medio alcalino se utiliza soda cáustica en su forma de libre comercialización. El tanque se llena hasta el nivel de 10 cm debajo de la plancha Fibrolit Nr. 2. De esta forma el volumen de solución es alrededor de 300 litros. Se trabaja con una solución al 1% (3 kg. de soda). Con esta concentración el valor Ph marca 14, es decir fuertemente alcalino, lo que garantiza una buena neutralización de los gases ácidos.

Para el control y mantenimiento de la alcalinidad y de la cantidad de agua, el tanque de neutralización tiene encementado adicionalmente un pedazo de tubo de 4", el cual puede ser cerrado con una tapa.

**Figura 3.** Filtro para la eliminación de gases ácidos.

**6.1.4. Tubo de unión entre el tanque de neutralización y tanque de oxidación.** Los dos tanques están conectados con un tubo PVC de 4". La salida del tanque de neutralización está en la esquina opuesta de la entrada.

La entrada al tanque de oxidación está en la esquina opuesta a la salida del tanque de neutralización. El tubo de conexión tiene una parte ascendente de 45° para de esta forma precipitar ocasionales gotas de agua provenientes de la ducha alcalina, y para así conservar

el filtro de oxidación lo mas seco posible. Se debe poner especial atención, que todas las uniones hacen el papel de embudo, para evitar derrames.

**6.1.5. Instalaciones dentro del tanque de oxidación.** El tubo de entrada termina en el fondo del tanque en una "L" conformada por tubos PVC de 4" y perforado con huecos de 1/4" en una distancia de aproximadamente 3 cm del uno al otro.

Para que los gases de hidróxido de azufre se distribuyan lo más uniforme posible, el tanque de oxidación tiene en su parte inferior una capa de piedras gruesas (10-15 cm), para que el gas pase por los intersticios de los mismos a todo el área interna del tanque.

Como medio de oxidación se utiliza una mezcla de limadura de hierro y cal.

**Figura 4.** Tanque de oxidación.

Con el fin de mantener separado la limadura de hierro y la cal de las piedras, se pone encima de las piedras una malla plástica . Encima de esta malla se pone la primera capa de limadura de hierro y se siembra la cal sobre la limadura de hierro. Se debe llenar el tanque en forma de capas para de esta forma evitar, que las partículas de cal y las de limadura de

hierro sé desmezclen. De esta forma se prosigue hasta llenar el tanque:

- Una malla.
- 3 saquillos de limadura de hierro.
- aprox. 15 kg. de cal.
- otra malla.

**6.1.6. Mantenimiento.** Para realizar un buen mantenimiento, se debe tener en cuenta:

1. Alcalinidad en el tanque de neutralización.
2. Debido a la reacción química que se produce con el hidróxido de sodio, este se consume y baja su alcalinidad.
3. Medio oxidante (limadura de hierro y cal) .

Si se llena el tanque de oxidación por completo, estará cargado con alrededor de 20 sacos de limadura de hierro y 100 kg. de cal. Esta cantidad parece suficiente para varios años de operación. Sin embargo como no se conoce todavía el comportamiento de este medio a largo plazo (influencia de factores como la propiedad higroscópica de la cal) es recomendable, que durante el primer año se revise bimensualmente el estado del filtro:

- si en la superficie todavía existen gránulos de cal.
- si se ha acumulado agua en el fondo del tanque.

En el caso de que ya no existan gránulos de cal en la superficie se debe evacuar la limadura de hierro, tamizarlo para separar los gránulos restantes de cal y llenar el filtro nuevamente, completando eventualmente la cantidad de cal y limadura de hierro faltante para llegar nuevamente al nivel anterior.

Si en el primer año de operación no se ha detectado un deterioro del filtro, las revisiones posteriores deben hacerse en intervalos de máximo un año.

## **7. EQUIPO MOTO-GENERADOR**

Teniendo en cuenta las diferentes opciones que se presentan en el mercado y basándonos en el consumo de energía en Kw/hr de la finca del señor Nelson González, se recomienda el uso de un moto-generador de energía marca Honda GX-120 con las siguientes características:

**Tabla 3.** Características técnicas del moto-generador.



Máxima HP del motor.	4.0
R.P.M.	1800
Potencia máxima generada (KW)	1.9
Potencia nominal (KW)	1.6
Factor de potencia	1.0
Voltaje A/C	120
Consumo de gasolina (Lt/hr)	1.25
Consumo de biogás (m <sup>3</sup> /hr.)	0.54

## **7.1. IDENTIFICACION DE COMPONENTES Y ESPECIFICACIONES PARA LA TRANSFORMACION DE UN MOTOR DE GASOLINA A BIOGAS.**

**7.1.1. Cilindros de almacenamiento de gas.** Son cilindros que almacenan el gas metano a una presión de 50 psi, fuertemente resistentes, con un espesor de pared ente 4 y 6 mm., y probados a 65 psi. Deberán estar firmemente fijados para evitar deslizamientos, rotación o desprendimiento de los mismos.

Sus longitudes y diámetros varían de acuerdo con su capacidad de almacenamiento, existiendo una variedad que oscila entre 5 y 20 m aproximadamente, lo cual permite acomodarlos dependiendo de la clase de espacios disponible. Su peso varia de acuerdo a la capacidad del cilindro, alcanzando los de mayor capacidad los 110 Kg.

**7.1.2. Válvula de bronce para cilindros.** Colocada directamente sobre la boca del cilindro, permite el libre paso de gas hacia y desde los cilindros. Cierra manualmente a la derecha (sentido horario) o de corte rápido (on-off).

**Figura 5.** Válvula de bronce para cilindros.

**7.1.3. Tubería de alta presión.** Comunica los cilindros de almacenamiento entre sí y a ellos con el resto del equipo instalado en el compartimiento del motor. Fabricada en acero

inoxidable con un espesor de 1 mm. y 6 mm.

**Figura 6.** Tubería de alta presión.

**7.1.4. Conjunto de llenado de gas.** Compuesto de dos piezas: Válvula manual de cierre.  
Válvula de llenado.

**7.1.4.1. Válvula manual de cierre.** Aísla el conjunto de cilindros del resto del equipo; permite realizar trabajos en las líneas de presión con el sistema completamente despresurizado. Cierra manualmente a la derecha (sentido horario)

**Figura. 7.** Válvula manual de cierre.

**7.1.4.2. Válvula de llenado.** Es una válvula cheque que permite el paso de gas de a los cilindros al momento de llenado y posteriormente, de los cilindros al resto del equipo.

**Figura 8.** Válvula de llenado.

#### **7.1.5. Conjunto reductor de baja presión.**

Compuesto de dos piezas:

- Control de flujo.
- Regulador de presión.

**7.1.5.1. Control de flujo.** Permite el paso del gas al momento de recibir la señal de vacío del motor e impide por medio de un filtro incorporado, el paso de cualquier elemento extraño hacia el motor contenido en el gas.

**Figura 9.** Control de flujo

**7.1.5.2. Regulador secundario de presión.** Recibe el gas a 50 psi y reduce su presión entre 4 y 6 pulg. de agua, dependiendo de los requerimientos del motor.

**Figura 10.** Regulador de baja presión.

#### **7.1.6. Conjunto de dosificación.**

Compuesto por:

- Mezclador.
- Adaptador.
- Filtro de aire.

**7.1.6.1. Mezclador.** Se encarga de dosificar la cantidad de mezcla aire / gas que entra a la cámara de combustión de acuerdo a los diferentes requerimientos de potencia del motor.

**Figura 11.** Mezclador

**7.1.6.2. Adaptador.** Elemento metálico que permite la conexión entre el mezclador y la boca del carburador de gasolina o su base.

**Figura 12.** Adaptador para mezclador.

**7.1.6.3. Filtro de aire.** Es del tipo de elemento seco y evita que entren partículas sólidas al

motor a través del mezclador.

**Figura 13.** Filtro de aire.

**7.1.7. Accesorios.** Son una serie de componentes eléctricos que permiten el normal funcionamiento del motor con ambos combustibles, ellos son:

- Electroválvula de gasolina.
- Electroválvula de gas.
- Electroválvula de alimentación de vacío.
- Conjunto indicador de nivel.
- Conmutador de gas-gasolina.
- Dispositivos electrónico de avance de chispa.

**7.1.7.1. Electroválvula de gasolina.** Ubicada entre la bomba de gasolina y el carburador del motor. Se encarga de impedir el paso del combustible líquido cuando el motor opera con gas metano. En los motores que operan con fuel infección, la electroválvula es reemplazada por un relay de 12 voltios.

**Figura 14.** Electroválvula de gasolina.

**7.1.7.2. Electroválvula de control de vacío.** Control la señal de vacío del múltiple de admisión al mezclador de gas, para eliminar la restricción en la entrada de aire al trabajar el motor con gasolina. Además, regula la señal de vacío para permitir el flujo de gas hacia el motor.

**Figura 15.** Electroválvula de control de vacío.

**7.1.7.3. Conjunto indicador de nivel.** Compuesto por un potenciómetro, ubicado en la línea de alta presión. Muestra la presión existente en los tanques de almacenamiento de

gas y a la vez envía una señal eléctrica al indicador de nivel, ubicado dentro de la casa en un lugar visible para el dueño de la finca, e indica en forma similar al indicador de gasolina cuando los tanques están o escasos de combustible.

**Figura 16.** Conjunto indicador de nivel

**7.1.7.4. Conmutador gas-gasolina.** Ubicado dentro de la casa, al alcance del dueño de la finca. Es un interruptor de tres posiciones con el cual el usuario selecciona el tipo de combustible a utilizar.

**Figura 17.** Conmutador gas-gasolina

**7.1.7.5. Dispositivo electrónico de avance de chispa.** Permite operar el motor con los adelantos de chispas requeridos para cada combustible.

**Figura 18.** Dispositivo electrónico de avance de chispa

## **7.2. ANTES DE LA PUESTA EN MARCHA DEL MOTO-GENERADOR.**

El operario antes de dar marcha el moto-generador debe:

- Revisar las conexiones eléctricas del equipo instalado, verificando que los



terminales eléctricos se encuentran en sus respectivos bornes y no existan cables sueltos.

- Revisar las conexiones de vacío, verificando que las mangueras se encuentran en sus puestos.
- Verificar que el conmutador se encuentre en la posición deseada para la operación con el respectivo combustible.

### **7.3. PERIODO DE ASENTAMIENTO DEL EQUIPO DE CONVERSIÓN.**

El futuro funcionamiento y la vida de servicio del equipo de conversión están bajo influencia directa del cuidado y tratamiento que reciba, por lo que se impone en los primeros días de funcionamiento se verifiquen las siguientes precisiones:

- Realizar dos o tres calibraciones del equipo, posteriores a la instalación del mismo hasta que se normalice su funcionamiento. Este es debido a que en la finca se ha instalado un equipo nuevo que necesita ajustar todas y cada una de las piezas a las condiciones de operación.
- Retorquear los tornillos que fijan los cilindros con herrajes, después de los primeros días de funcionamiento del motor.

- Controlar el funcionamiento del indicador de temperatura para evitar la operación del motor a temperaturas excesivas.
- Cerciorarse previamente al inicio de cualquier puesta en marcha que los cilindros se encuentran en perfectas condiciones y, además, férreamente instalados en los lugares señalados para tal fin.
- Revisar minuciosamente todo el sistema eléctrico del motor y comprobar que se encuentra en perfecto estado.

#### **7.4. OPERACIÓN.**

**7.4.1. Funcionamiento con gasolina.** Para el funcionamiento con gasolina el conmutador de selección de combustible debe encontrarse en la posición inferior. En esta posición esta energizada la electroválvula de gasolina y la electroválvula de alimentación al vacío. La primera, permanece abierta permitiendo la normal circulación de gasolina de la bomba al carburador; la segunda, abre permitiendo que la señal de vacío del múltiple, alto vacío, abra completamente el diafragma del dosificador, eliminando la posibilidad de la restricción en la entrada de aire por el dosificador.

**Figura 19.** Esquema funcionamiento con gasolina.

**7.4.2. Funcionamiento con gas.** El selector de combustible debe encontrarse en la posición superior. Energizándose la electroválvula de gas, que permite que la señal de vacío del carburador, bajo vacío, llegue hasta el control de flujo, permitiendo este el paso de gas hacia el regulador secundario de presión.

Al mismo tiempo, se desenergizan las electroválvulas, la bomba e inyectores de gasolina y de alimentación de vacío, cortándose el flujo de gasolina al carburador, y el alto vacío al dosificador de gas, permitiéndose así el normal desplazamiento del embolo que regula la cantidad de gas y de aire que entra al motor.

**Figura 20.** Esquema funcionamiento con gas.

**7.4.3. Cambio de combustible.** Los cambios de combustible deben realizarse con el motor encendido. Para realizar el cambio de gasolina a gas, se deben realizar los siguientes pasos:

- Colocar el selector de combustible en la posición intermedia, ni gas ni gasolina.
- Acelerar el motor hasta consumir la gasolina existente en la cuba del carburador.
- Colocar el interruptor en la posición de gas y desacelerar cuando se estabilice el

motor.

- Percatarse que el sistema eléctrico no tenga el más mínimo defecto, pues cualquier chispa puede originar consecuencias adversas.

**Figura 21.** Esquema para el cambio de gasolina a gas.

Es importante retardar al máximo el penúltimo paso de este procedimiento para evitar la presencia de ambos combustibles en el carburador.

Para el cambio de gas a gasolina se deben realizar los siguientes pasos:

- Cambiar el conmutador de la posición de gas a la de gasolina, sin detenerse en la intermedia.
- Mantener acelerado el motor hasta estabilizar su funcionamiento.

**Figura 22.** Esquema para el cambio de gas a gasolina.

**7.4.4. Instalación.** Antes de iniciar cualquier conversión, es necesario determinar si el

motor se encuentra en optimas condiciones mecánicas para convertirlo, lo cual se determina con una prueba de inspección donde se mide la compresión del motor y una serie de parámetros adicionales que le permiten predecir el estado de las piezas mecánicas del motor; además se hace necesario un buen sistema de encuentro de encendido del mismo.

El equipo esta diseñado para ser montado por partes completamente independientes en donde se agrupan de acuerdo a la función o características esenciales de funcionamiento.

Los tres componentes del sistema de alta presión: Válvula de llenado, Válvula manual de cierre y el Reductor Primario de Presión, se montan en un solo paquete que conforma el sistema de reducción de alta presión.

El control de flujo y el reductor secundario de presión se conecta por medio de un racor y se instala como una sola pieza formando el sistema de reducción de baja presión.

Como cuidados en su instalación se impone tener la facilidad de acceso para el llenado y para las conexiones de las mangueras de calefacción del reductor, los conjuntos no deben estar cerca al múltiple de escape. La válvula manual de cierre debe quedar con fácil acceso.

Se debe estar seguro y tener identificadas las entradas y salidas de gas al hacer cualquier conexión.

**7.4.5. Funcionamiento del equipo.** El gas metano es almacenado en los cilindros en forma de vapor a una presión máxima de 50 psi. Cuando la válvula manual de cierre se encuentra abierta el gas pasa a través de ella y llega al manómetro que indica la presión a la cual se encuentra el gas en los cilindros.

Posteriormente, el gas metano fluye por el control de flujo, el cual no permite el paso de gas hacia el resto del equipo cuando la maquina se encuentra apagada, sin importar si el switch esta o no conectado. Esto es controlado por una válvula que conduce vacío desde el mezclador de gas; también su elemento filtrante mantiene cualquier partícula sólida que pueda dañar el reductor secundario de presión debido a la alta presión a que se encuentra el gas en ese punto.

Del control de flujo, el gas pasa al regulador secundario de presión, en donde reduce de 50 psi a una presión de salida ajustable entre 2.0 y 6.0 pulgadas de agua.

El gas posteriormente, pasa al mezclador o dosificador de gas que se encuentra montado sobre el carburador por medio de un adaptador. Los dosificadores de gas, son unas válvulas de aire-gas que utilizan una caída de presión relativamente constante para suministrar combustible al mezclador desde el arranque hasta la plena carga. Estos dosificadores son completamente independientes y no necesitan líneas de vacío para su

funcionamiento, lo que lo hace flexible para su instalación como dosificador o como carburador completo para el caso de solo gas.

**7.4.6. Ajustes y calibraciones del equipo de conversión.** Para la calibración del equipo en general, se deben utilizar los siguientes rangos de presión:

- Ajustar la presión en el regulador de acuerdo a la tabla 2, con el motor encendido bajo una carga moderada ajustando el tornillo de regulación.

**Tabla 4.** Presión en el regulador secundario.

CILINDRADA DEL MOTOR (C.C.)	PRESION RECOMENDADA (Pulg.-agua)
1300 - 3000	2.5 - 4.0
3100 - 5000	3.0 - 5.0
5100 - 7000	5.0 - 6.0

Nota: los valores de presión para una optima calibración del equipo, están sujetos al estado del motor.

- Ajustar el mínimo con el tornillo de mínima del mezclador hasta obtener unas R.P.M. estables.
- Poner en marcha el motor, con el propósito de verificar los ajustes realizados y ejecutar las calibraciones finas al equipo antes del recibo a satisfacción del mismo.

Todos estos pasos deben realizarse después de haber sincronizado el motor, teniendo en

cuenta las especificaciones del fabricante y las recomendaciones para sacar el máximo rendimiento del equipo de gas.

## **7.5. REVISIONES DE SEGURIDAD.**

**7.5.1. Instalación de cilindros.** Todo cilindro antes de ser instalado debe ser protegido con un sistema especial de pintura que evite la acción del medio ambiente corrosivo sobre la pared externa del cilindro; estas capas de pintura deben ser saneadas cada vez que se presenten ralladuras por golpes o roces con objetos extraños.

Un recipiente para almacenamiento de gas metano deberá ser instalado en forma permanente y con un anclaje excesivamente adecuado a efectos de evitar su desplazamiento, resbalamiento o rotación. Adicionalmente, se debe proteger contra la salpicadura o posibles colisiones, no debe soldarse ningún elemento al cilindro y debe evitarse el contacto de este con cualquier elemento diferente al caucho que los separa del herraje.

Las especificaciones técnicas de los elementos utilizados para la instalación de los cilindros son las siguientes:

- Herrajes fabricados con canal de 3"x3/16", platina de 1-1/2"x3/16" y de 1-1/2"x 1/4", en acero estructural A-36.



- Tornillos de acero grado 5, de ½” de diámetro y 1-1/2” o 2” de longitud.
- Tubería de acero de 6mm. de diámetro, con espesor de pared de 1mm. y revestimiento de PVC.
- Aislante para los herrajes fabricados en caucho de alta dureza, de 1-3/4” de ancho con dos pestañas de 7/16”.
- Pintura para los cilindros: Base: Primer anticorrosivo epoxico. Acabado: Poliuretano.
- Pintura para los herrajes: Anticorrosivo alquidico.

Otros aspectos a tener en cuenta para la instalación de los cilindros son los siguientes:

- La vincha de sujeción del herraje debe ser fijada con doble tuerca o tuerca de seguridad.
- Los tornillos de fijación del herraje deben ser instalados con doble tuerca o tuerca de seguridad.
- El cilindro no debe quedar en contacto directo con el herraje que lo soporta. Para esto se debe utilizar el caucho liso para el herraje.

- Para protección de los cilindros se deben instalar los respectivos protectores contra salpicaduras.
- Los cilindros deben ser de una especificación aprobada y tener claramente impresa su última fecha de revisión.
- Los cilindros deben estar libres de corrosión y fuera de contacto con cualquier elemento metálico.
- Los cilindros deben estar montados seguramente y ubicados dentro del perímetro de la casa; además deben protegerse de impactos en los lugares donde sea necesario.
- Los herrajes no deben presentar daños ocasionados por impactos ni fallas en el material que pongan en peligro la condición esencial de funcionamiento, lo que es la sujeción de los cilindros.
- El caucho que separa los herrajes de los cilindros debe encontrarse en buen estado.

Diariamente deben revisarse en cuanto al cuidado de los cilindros los siguientes puntos:

- Verificar ajustes de herrajes.

- Inspeccionar presencia de corrosión.
- Verificar el funcionamiento de la válvula manual de cierre.
- Verificar el sellamiento de juntas (fugas).
- Verificar materiales utilizados, que sean los especificados.
- Verificar el estado de los herrajes, que no presenten fisuras, golpes, torceduras, o corrosión.
- Verificar torque de los tornillos de sujeción de herrajes.
- Verificar fecha de vencimiento de la Prueba Hidrostática.
- Inspeccionar el estado de los cauchos de los herrajes.
- Inspeccionar el estado de la tubería.
- Inspeccionar ralladuras o caída de pintura de los cilindros.
- Inspeccionar el estado de los guardapolvos.
- Verificar permanentemente el aseo o lavado de los cilindros.

- Verificar la fecha de inspección anual de cilindros.

Estas revisiones deben ser realizadas por el propietario o capataz de la finca.

**7.5.2. Inspección periódica.** Se debe realizar periódicamente la revisión de los cilindros toda vez que al momento de producirse cualquier tanqueo la persona que lo realiza podrá abstenerse de hacerlo si encuentra:

**1. Cilindros con señas de corrosión:** La severidad de la misma determina la necesidad del cambio de cilindros o del desmonte para pintarlo.

**2. Herrajes en mal estado:** Los herrajes pueden sufrir deterioros por golpes, desgastes, corrosión o falta de mantenimiento. Un estado defectuoso de este elemento, podría ocasionar un accidente por la caída del cilindro que esta soportando.

**3. Falta de caucho de herrajes:** El contacto metal-metal entre el cilindro y el herraje daña la capa de pintura que protege a este y ocasiona desgaste excesivo del espesor de la pared del cilindro, con el consecuente riesgo de una falla en el mismo.

Adicionalmente, al perderse el caucho, los cilindros quedarían sueltos ocasionando, en el caso de instalación por parejas, un posible contacto cilíndrico.

**4. Contactos entre cilindros:** Esto debe evitarse a toda costa, pues ocasiona un desgaste severo de las paredes externas del cilindro a lo largo de una línea de contacto, lo que sumado a un almacenamiento de barro, en el caso de cilindros al descubierto, disminuye drásticamente la vida útil del cilindro y aumenta notoriamente la inseguridad de operación

**7.5.3. Prueba hidrostática.** Como todo recipiente que almacena gases a altas presiones de trabajo, los cilindros de gas metano debe ser sometidos cada cinco años a una revisión técnica, donde se define su permanencia o sustitución mediante la determinación de los siguientes parámetros, entre otros:

1. Porcentaje de expansión permanente.
2. Perdida del espesor de las paredes del cilindro por corrosión o rozamiento.
3. Capacidad de recuperación y fatiga del material.

Para la realización de esta operación, se hace necesario el desmonte total de los cilindros instalados.

De toda esta información se desprenden una serie de obligaciones que cada usuario debe cumplir a cabalidad para garantizar la seguridad en la operación del moto-generador:

- Realizar inspecciones mensuales al estado del paquete de cilindros instalados. Someta a su moto-generador a revisiones.

- Mantener limpios los cilindros. Si los cilindros se encuentran instalados fuera de la vivienda, deben mantenerse limpios de barro por medio de lavados periódicos y protegidos con carpas, que eviten la salpicadura sobre los mismos.
- No realizar modificaciones en las instalaciones de los cilindros. Consultar el personal técnico en caso de requerir información al respecto.

#### **7.5.4 Otras revisiones de seguridad**

- Verificar fugas de gas en todas las válvulas y racores.
- Verificar que la línea de combustible esté libre de corrosión y de daño, asegurada al sistema moto-generador, y protegida de impactos donde sea necesario. En caso de existir roce con algún elemento metálico se debe ajustar o cambiar el tramo afectado.
- Verificar que las conexiones de la electroválvula de gasolina estén libres de fugas de combustible líquido.
- Verificar que el kit de conversión esté montado en forma segura y una correcta operación del mismo.

#### **7.6. SERVICIO Y MANTENIMIENTO**

Utilice el aceite recomendado por el fabricante para su tipo de moto-generador. Si utiliza como único combustible el gas metano podrá disminuir la frecuencia de los cambios de aceite hasta tres veces de la normalmente utilizada con gasolina.

Es importante el uso permanente del filtro de aire, debido a que de esto depende la vida útil del dosificador.

El equipo de conversión trabaja esencialmente con dispositivos accionados por señales, de vacío del motor, por lo que es absolutamente indispensable, que al realizar trabajos sobre el equipo de gasolina, carburador, no se dejen tornillos sueltos que permitan la entrada de aire a la admisión, pues nunca se conseguirá un funcionamiento estable con gas metano.

El tiempo inicial de encendido es un aspecto importante de la sincronización, por lo que es absolutamente necesario que sea manejado por personal técnico calificado y con los respectivos equipos necesarios. Dejar esta operación en manos no calificadas puede acarrearle graves daños a sus intereses económicos.

El gas metano como combustible, forma una mezcla de menor facilidad para la explosión, por lo que necesita que el sistema de ignición funcione siempre en perfecto estado, haciéndose necesario revisar constantemente los voltajes entregados por cada uno de sus componentes.

## **7.7. NORMAS DE SEGURIDAD**

- No manipular la instalación.
  
- El usuario del moto-generador convertido a gas metano, no debe realizar ningún cambio sobre la instalación ni sobre ninguna de las partes correspondientes al equipo de gas metano. Todo este conjunto ha sido montado, calibrado y probado por personal idóneo y técnicos especialmente entrenados para ese fin y su instalación y funcionamiento ha sido controlado y aprobado por las autoridades competentes.
  
- Ante cualquier problema que se le presente con su moto-generador, debe recurrir al taller de servicios autorizados.
  
- Perdidas de gas ocurridas sin mediar accidentes.
  
- Si el usuario detecta alguna pérdida de gas en el área del moto-generador, deberá apagar este y cerrar la válvula manual de cierre girando la manija en el sentido de las agujas del reloj, como se cierra una válvula común de agua.

## **8. PROPIEDADES Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE DEL MOTOGENERADOR**



## **8.1. ANALISIS FISICO - QUIMICOS DE LOS COMBUSTIBLES.**

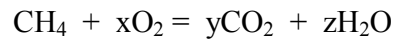
**8.1.1. Gasolina.** Es una mezcla compleja de hidrocarburo que destila dentro de los límites de 100 a 400 °F. Posee densidad de 62 API, una gravedad específica de 0.71 a 60 °F y un poder calórico de 20750 Btu/lb.

**8.1.2. Gas propano.** Se encuentra en yacimientos subterráneos por separados o asociados al petróleo crudo. Su fórmula química es  $C_3H_8$ , y tiene un peso específico de 0.1142 lb/ft<sup>3</sup> a 68 °F y 14.7 psi. Posee un poder calórico de 19994 Btu/lb.

**8.1.3. Biogás.** Se produce con facilidad por digestión anaeróbica de los desperdicios contiene un promedio de 62 % de metano y 36 % de bióxido de carbono, también contiene una pequeña cantidad de nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. Su poder calórico se calcula a partir de los calores calóricos de bióxido de carbono y gas metano.

Basándonos en la tabla 5 tenemos que el poder calórico del bióxido de carbono es de 4346 Btu/lb y del metano 23890 Btu/lb. Sumando los porcentajes de cada uno que conforman el biogás, se tiene que posee un poder calórico de 16376 Btu/lb.

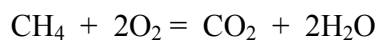
**8.1.3.1. Ecuación de combustión del gas metano.** Para un compuesto combustible, como el CH<sub>4</sub>, la ecuación de combustión puede expresarse de la siguiente manera.



Si se tiene toma en base una sola molécula de CH<sub>4</sub> y se hace un balance de los átomos a ambos lados de la ecuación, se ve que.

$$Y=1 \quad Z=2 \quad 2X = 2Y + Z \quad \text{o} \quad X=2$$

Por lo tanto:



Los coeficientes en la ecuación de la combustión dan los volúmenes de la combinación de los coeficientes gaseosos, esto quiere decir que un ft<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>, requiere para su combustión 2ft<sup>3</sup> de oxígeno. Los productos gaseosos resultantes de la combustión son: 1ft<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub> y 1ft<sup>3</sup> de H<sub>2</sub>O.

## **8.2. CONSUMO DE COMBUSTIBLE.**

Experimentalmente se conoce que el consumo del moto-generator recomendado es de 1.25 Lt/hr de gasolina y 1.2 Lb/hr

de gas propano para generar una potencia nominal de 1.6 KW.

En nuestro caso reemplazaremos a estos dos combustibles por biogás y tomando como base el consumo de gas propano podemos deducir el consumo de biogás.

Sabemos que el peso específico del metano es  $0.0416 \text{ Lb/ft}^3$  y que el peso específico del  $\text{CO}_2$  es  $0.1142 \text{ Lb/ft}^3$  que equivalen al 62 y 32 % del biogás respectivamente, esto quiere decir que  $1 \text{ ft}^3$  pesa  $0.0623 \text{ Lb}$ . Como el consumo de biogás es  $1.2 \text{ Lb/hr}$  quiere decir que se utilizarían  $19.26 \text{ ft}^3/\text{hr}$ . lo que es igual a  $0.54 \text{ m}^3/\text{hr}$ . de biogás para generar  $1.6 \text{ KW}$  o lo que es casi igual a  $1 \text{ Hp}$  de potencia.

Nuestro biodigestor tiene una capacidad de producción estimada en  $5 \text{ m}^3$  diarios de biogás, los cuales se almacenan en un recipiente a una presión de  $50 \text{ psi}$ , esto nos daría una autonomía de aproximadamente 10 horas de funcionamiento.

### **8.3. CONSUMO DE ENERGIA DE APARATOS MAS COMUNES.**

Televisor.	80W
Bombilla	70W
Lámpara fluorescente	40W
Grabadora	20W
Ventilador de pie	60W

Nevera 8 ft            120W

**Tabla 5.** Poder calórico del gas metano.

## **9. PROBLEMAS Y SOLUCIONES MAS COMUNES EN LA CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL GENERADOR DE GAS**

Para la construcción del biodigestor, inicialmente en la carpa contenedora del gas, se pusieron ganchos metálicos que sostuvieran esta, en el momento en que el gas ejerciera presión , pero puesto que al momento de hacerle mantenimiento, limpiar o corregir algún detalle se hacia muy engorroso y difícil la quitada de los ganchos y por ende el deterioro de estos mismos; viendo entonces lo que esto implicaba optamos por cambiar estos ganchos metálicos por una cuerda plástica resistente haciéndose mucho mas fácil este proceso de mantenimiento.

Como el proceso para la producción de gas demora quince días a partir del momento de echar la carga, se presento el problema de que la carpa desinflada era deteriorada por la lluvia que caía creando un pozo sobre esta y a su vez filtrándose agua hacia adentro del biodigestor, por lo que se recurrió a crear una malla de maderos, colocándose debajo de la carpa y que sostuviera esta al momento de caerle agua; pero debido al contacto de los maderos con la carpa ocasionaron fisuras en esta lo que nos obligo a desistir de esta solución y tratar de drenar esa agua de una manera mas sencilla y económica.

