


**UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA  
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA  
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO**

Nº DE RADICACIÓN: \_\_\_\_\_

**INFORMACIÓN EJECUTORES**

**Ejecutor 1**

Nombre (s):	Sergio Andres	
Apellido (s):	Tovar Suescun	
Código:	20142375067	
E-mail:	<a href="mailto:Seanto086@gmail.com">Seanto086@gmail.com</a>	
Teléfono fijo:	4633808	
Celular:	57 3175590170	

**Ejecutor 2**

Nombre (s):	Danilo Alberto	
Apellido (s):	Guerrero Vasquez	
Código:	20141375038	
E-mail:	<a href="mailto:Daniloagv15709@hotmail.com">Daniloagv15709@hotmail.com</a>	
Teléfono fijo:	2469186	
Celular:	57 3152429601	

**INFORMACIÓN DEL PROYECTO**

Título del Proyecto:	<b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE 2T OPERADOS CON BIOGÁS</b>	
Duración (estimada):	Siete meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y desarrollo tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y servicios tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otros	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Trabajo de Grado	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Desarrollo tecnológico, local e institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Diseño y energías alterativas aplicando Ingeniería Mecánica	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Diseño, energías alternativas, maquinas térmicas, termodinámica aplicada, otros.	

**INFORMACIÓN PASANTÍA**

Nombre de la empresa:	
Dirección:	
Teléfonos:	
Correo electrónico:	
Página Web:	

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

Director: (Vo. Bo.)	Ing. MSc. Germán Arturo López Martínez
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	Ing. MSc. Germán Arturo López Martínez

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y FUNCIONAMIENTO DE UN  
MOTOR DE 2T OPERADOS CON BIOGÁS**

**DANILO ALBERTO GUERRERO VASQUEZ**  
**SERGIO ANDRÉS TOVAR SUESCUN**

**PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOS DE CALDAS**  
**FACULTAD TECNOLÓGICA**

**BOGOTÁ D.C.**

**2016**

Contenido

1.	LISTA DE TABLAS .....	4
2.	LISTA FIGURAS.....	5
3.	RESUMEN.....	6
4.	INTRODUCCIÓN.....	6
5.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	8
6.	ESTADO DEL ARTE .....	9
7.	JUSTIFICACIÓN.....	12
8.	ANTECEDENTES.....	13
8.1	Biodigestor .....	13
8.2	Motor de dos tiempos.....	18
9.	OBJETIVO.....	21
9.1	Objetivos Generales.....	21
9.2	Objetivos específicos .....	22
10.	METODOLOGÍA .....	22
11.	MARCO TEÓRICO.....	23
11.1	LA DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	23
11.2	CONDICIONES DEL PROCESO ANAEROBIO.....	26
11.3	BIODIGESTOR DE CUPULA FIJA O TIPO CHINO.....	28
11.4	PRODUCTOS OBTENIDOS: EL BIOGÁS Y EL BIOABONO.....	29
11.5	APLICACIONES DEL BIOGÁS.....	31
11.6	MOTOR ALTERNATIVO DE DOS TIEMPOS .....	32
11.7	MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE ENCENDIDO POR CHISPA .....	34
12.	CRONOGRAMA.....	37
13.	PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN .....	40
14.	BIBLIOGRAFÍA .....	42

## 1. LISTA DE TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>PÁGINA</b>
Tabla 1. Primera carga	15
Tabla 2. Medición Ph biodigestor	15
Tabla 3. Segunda carga	17
Tabla 4. Parámetros para calcular le eficiencia del motor	19
Tabla 5. Valor de torque máximo	20
Tabla 6. Comparación de datos de potencia	20
Tabla 7. Parámetros de funcionamiento del motor	20
Tabla 8. Parámetros constructivos del mezclador calculados por el método Mitzlaff	21
Tabla 9. Residuos vegetales y posible producción de biogás	24
Tabla 10. Tiempo de retención	27
Tabla 11. Composición química del biogás	30

## **2. LISTA FIGURAS**

Figura 1 Síntesis de las etapas presentes en la digestión anaeróbica	25
Figura 1 Influencia de la temperatura sobre el tiempo de retención	27
Figura 2 Esquema de una planta de cúpula fija	29
Figura 3 Motor de dos tiempos	33
Figura 5 Ciclo teórico de un motor de dos tiempos	34

### **3. RESUMEN**

En este proyecto, se presenta el diseño y cálculo de un motor de 2T que funciona con biogás generado en la Facultad tecnológica; estos cálculos incluyen la potencia generada y la cantidad de biomasa necesaria para la generación de biogás que requiere el motor, también, el estudio de diseño y evaluación económica para un biodigestor, selección del motor y alternador destinado para la comunidad de la vereda de Quimbitá.

### **4. INTRODUCCIÓN**

En los últimos años, el cambio climático a nivel mundial ha afectado negativamente la generación energética en Colombia, ya que el parque energético colombiano depende en su mayoría de las fuentes hídricas (cerca del 65%)<sup>1</sup>, el gobierno se ha visto obligado a que las termoeléctricas funcionen a máxima capacidad y aun así sin poder suplir la demanda energética al 100%, esto, representa que la necesidad de otras fuentes de generación eléctrica es evidente y una de ellas es: la biomasa.

La valorización energética de la biomasa está dada por la cantidad de energía que contiene y que puede llegar a liberar cuando se somete a un proceso de conversión energética. Las características de la biomasa la convierten en una fuente atractiva para ser aprovechada energéticamente.

Gran parte de la población rural en los países en vía de desarrollo que representan cerca del 50% de la población mundial, aún dependen de la biomasa tradicional,

---

<sup>1</sup> Consultado en:  
[http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/generacion\\_electrica\\_bajo\\_escenarios\\_cambio\\_climatico.pdf](http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/generacion_electrica_bajo_escenarios_cambio_climatico.pdf)

principalmente de leña como fuente de energía. La biomasa suple aproximadamente el 35 % del consumo de energía primaria en países subdesarrollados y alcanza un 14% del total de la energía consumida en el mundo (Biomass Users Network Centroamérica – BUN- CA, 2002; Mckendry, 2002). Según el informe de Estadísticas Energéticas (OLADE, 2006) en Suramérica, el consumo de biomasa para proceso de transformación, consumo propio y pérdidas, ha tenido una tasa de crecimiento favorable, siendo liderado por Argentina con 10,39%. Colombia en el año 2006, presentó una tasa de crecimiento en el consumo de biomasa de 2.38%, un indicador clave del que se ha comenzado a tomar conciencia de la importancia de explotar de forma más tecnificada y organizada esta fuente energética.

Los 32 departamentos, con sus 1.085 municipios (que conforman el territorio colombiano), generan aproximadamente 21.000 t/día de residuos sólidos procedentes de las actividades residenciales, comerciales e institucionales, con un porcentaje de material orgánico del 56,44% (Ideam, 2008). En Colombia, con una población de 42.888.592 habitantes (DANE, 2005), según datos de la superintendencia de Servicios Públicos ordinarios en cabeceras municipales para el año 2000, fue de 7.921.034,78 toneladas de residuos generados, equivalente a una producción per cápita de 0.721 kg/hab/día; mientras que para el año 2004, se generaron 8.558.981,47 toneladas (0.716 kg/hab/día). Estos datos indican que la generación per cápita promedio de residuos sólidos en Colombia se constituye en otra fuente importante de biomasa residual<sup>2</sup>.

Teniendo en cuenta diferentes estudios realizados en el mundo acerca del potencial energético de la biomasa (Culping L., et. Al., 2004; Flora, J.R.Vm Riahi-Nezhad, C. 2006; Ravindrath N.H., et. Al., 2006; Hoogwijk, M., et. Al , 2003) y el análisis de

---

<sup>2</sup> Consultado en:  
[http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia\\_\\_.pdf](http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia__.pdf)

prospección planteado en la estructura energética del país, se infiere que la biomasa residual puede llegar a ser una fuente alternativa de energía renovable para Colombia, lo cual puede verificarse en el estudio de potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas realizado en Colombia por la Unidad de planeación Minero Energética (UPME, 2003).

Sabiendo este potencial energético aún no explotado en el país, se pretende poner en marcha dos proyectos de grado con los que cuenta la Universidad Distrital de la Facultad tecnológica, funcionen como uno solo: Un motor de dos tiempos (2T) operando con biogás.

Una vez que el motor ya opere con biogás, se procede a realizar el estudio para la vereda de Quimbita en el municipio de Manta, Cundinamarca.

## **5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

En la actualidad la demanda de energía cada vez es más alta y en esta necesidad surge la idea de buscar nuevas fuentes de generación de energía.

En la Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad Tecnológica, se encuentran dos proyectos de grado, los cuales pueden funcionar como uno solo: en primer lugar se tiene un biodigestor diseñado para los desperdicios generados en la cafetería; y en segundo lugar, se tiene un motor 2T, el cual fue modificado a gas natural domiciliario y su posterior uso para biogás. Al adaptar estos dos proyectos se pretende que el motor trabaje por cierta cantidad de tiempo con el combustible generado por el biodigestor de una manera autosostenible, con la exitosa adaptación de ambos se hará un pequeño estudio de aplicación a una comunidad rural.



## 6. ESTADO DEL ARTE

Basados en diferentes investigaciones, y con el auge que tienen actualmente debido a la gran necesidad de representar las diferentes fuentes de energía, podemos integrar proyectos tanto nacionales como internacionales, encontrando cambios racionales en la estructura y diferentes aplicaciones en cada uno de ellos; donde se pueden evidenciar cambios en la fuente de energía y en el proceso de descomposición de la materia prima para el funcionamiento del biodigestor.

En la actualidad, no se ha instalado como tal un sistema industrial constante de operación con biogás que sea auto sostenible, pero se han realizado varias investigaciones de mejoramiento de biodigestores y optimización de producción de biogás.

Uno de los proyectos locales, la tesis titulada "*Montaje y puesta en marcha de dos biodigestores anaerobios con residuos orgánicos generados en la central de mercado Plaza Kennedy*", presentado por los estudiantes de la Universidad Manuela Beltrán, se diseña y construye un biodigestor que tuvo como objetivos, analizar la biodegradación de diferentes materias orgánicas y de su composición físico-Química, reducir la cantidad de residuos, y por último la generación CH<sub>4</sub>.<sup>3</sup>

En el año 2010 se presenta el artículo "*Diseño de un mezclador aire-biogás para un motor diésel turboalimentado*" presentado por los docentes Fabio Andrés Bermejo Altamar y Wilman Antonio Orozco Lozano de la Universidad Autónoma del Caribe, en el cual se determina la eficiencia volumétrica del motor y la relación estequiometría aire-biogás para una composición fija de metano y dióxido de carbono en el biocombustible. Una vez aplicados ambos procedimientos, se

---

<sup>3</sup> Torres Juliana, Díaz Sandra, Ramos Pricila, "montaje y puesta en marcha de dos biodigestores anaerobios con residuos orgánicos generados en la central de mercado <sup>333</sup>  
<sup>3</sup>"Plaza Kennedy en Bogotá", Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Manuela Beltrán, 2008.

encontró que el método sugerido por Agudelo ofrece un dimensionamiento más rígido que el expuesto por Mitzlaff, atribuido a que considera las variaciones en la densidad que tienes el gas con respecto a la presión y temperatura. Además tiene en cuenta el índice de Wobbe, lo cual hace el diseño más real. Finalmente se escogen los parámetros de diseño calculados por este método, ajustándolos a valores comerciales para la elaboración de los planos de fabricación del mezclador.<sup>4</sup>

En el artículo, “*Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustible de segunda generación*”, donde se muestra la posibilidad de implementar un esquema de biodegradación, del cual, además del tratamiento y estabilización de una amplia gama de desechos, se pueden obtener valiosos insumos para otros sectores industriales como los azúcares y el etanol. Adicionalmente, el compost conseguido puede desempeñar un papel importante en el sector agrícola en calidad de un abono de bajo costo, y el biogás producido puede contribuir a disminuir los costos energéticos del proceso integral de biodegradación.<sup>5</sup>

En la investigación desarrollada en la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima Perú la cual es nombrada “*Regulación automática del sistema de alimentación de biogás de un motor de combustión interna*” realizada por Juan Guillermo Lira Cacho y Alex Contreras Paredes, describe un sistema de regulación de alimentación de biogás para un motor de combustión interna de alta potencia, las modificaciones realizadas permitieron controlar el consumo de gas y además, el régimen de potencia máxima nominal para cargas menores manteniendo prácticamente el balance de estequiometría de aire – gas.

---

4 Bermejo Fabio, Orozco Wilman, “Diseño de un mezclador aire- biogás para un motor diésel turboalimentado” Prospect. Vol. 8, No. 2, Julio - Diciembre de 2010, págs. 37-43.

5 Severiche Carlos, Acevedo Rosa, “Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda generación”, Revista Ingenium de la Facultad de Ingeniería • Año 14 • n.º 28, Julio - Diciembre de 2013, p.p. 6 – 15.

En el artículo, *“Biogás como combustibles alternativo para una estufa y un motor de un cilindro ciclo Otto”* de la universidad de San Carlos de Guatemala, describe el diseño de un biodigestor económico en su fabricación, que permite llevar a cabo operaciones en aplicaciones pequeñas. En esta investigación se realizan pruebas para satisfacer necesidades energéticas de calefacción e iluminación y de pequeños establecimientos rurales. El residuo se utiliza como fertilizante orgánico, además, se implementa un sistema en el cual inicialmente trabaja con gasolina y luego el biogás sostenible, que se tuvo que mantener acelerado a 3600rpm, y cuya adaptación con el biodigestor fue mediante un sistema regulador con PVC.<sup>6</sup>

En el artículo, *“Análisis exploratorio de investigaciones sobre los motores de combustión interna que trabajan con biogás”*, se verifican las metodologías y aplicaciones sobre las tecnologías del biogás, enfocándose en el estudio de la eficiencia, la combustión y el control de emisiones. Las investigaciones están dirigidas a realizar modificaciones en el sistema de mezcla aire combustible, rangos de composición de biogás en cuanto a cantidad de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, la presión de suministro de combustible, la relación aire combustible, la adición de porcentajes controlados de H<sub>2</sub> inferiores al 15 %, así como el poder controlar variables de prueba en cuanto a porcentaje de carga, velocidad de rotación y par efectivo del motor<sup>7</sup>.

En el artículo utilización de biogás para uso en motores de cuatro tiempos de la Universidad de Earth, desarrolla, implementa y ofrece otra opción para zonas de bajos recursos económicos: generación de energía eléctrica a partir de desechos orgánicos. Allí, define la metodología para la adaptación de motores de gasolina o diésel de cuatro tiempos, y que por medio de una pieza, se pudo utilizar biogás; en

---

6 Lira Juan Guillermo, Contreras Alex, “regulación automática del sistema de alimentación de biogás de un motor de combustión interna” Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, *XVIII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XVIII- SPES)*, Lima, 14 - 19.11.2011

7 Arango Jorge, Sierra Fabio, Silva Vladimir, “Análisis exploratorio de investigaciones sobre los motores de combustión interna que trabajan con biogás”, Revisión, Universidad Nacional de Colombia, 12 de febrero de 2013.

el motor diesel de cuatro tiempos el funcionamiento empieza con un combustible de mezcla mixta diésel-biogás-aire. Finalmente se evidenció que el sistema diésel es más eficiente, ya que no se necesita una regulación del mismo, además, que a medida que aumenta su operación, aumenta el consumo de biogás y disminuye el consumo de diésel aire.<sup>8</sup>

De la tesis, “Validación técnica para producción de biogás” se plantean tecnologías empleadas a nivel mundial que han mejorado el procesamiento de residuos sólidos urbanos y fracción orgánica, los cuales hacen uso de procesos termoquímicos, biológicos, bioquímicos y físicos, con el fin de generar energía, en el que se evidencia el funcionamiento y operación; dando a conocer ventajas y desventajas de cada uno, estableciendo criterios y determinando sistemas de producción de biogás que más se ajusta a las características requeridas, el costo beneficio bajo una selección de argumento factor ambiental, social y económico<sup>9</sup>.

## 7. JUSTIFICACIÓN

La biomasa es una fuente de energía que aún no ha sido muy explotada en el país, ni mucho menos como fuente de generación de energía eléctrica, por ello es fundamental iniciar con el proceso de investigación y estudio en el área, además de que sus beneficios van más allá del aprovechamiento de la “basura” y cuyos aportes se pueden dividir de la siguiente manera:

---

<sup>8</sup> Julio Enrique Orozco ,Favio Carmona, Raúl Botero ,Carlos Hernández, “ Utilización de biogás para uso en motores de cuatro tiempos (diesel o gasolina)”, UNIVERSIDAD EARTH, SERIE DOCUMENTOS TECNICOS No. 2004-3

<sup>9</sup> Rodriguez Luis Aljandro, “Viabilidad técnica para producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos – forsu”, Tesis, Universidad EAN, Facultad de Postgrados, Especialización en Gestión de Residuos Sólidos, Bogotá – Septiembre de 2014

- Social: uno de los fines del proyecto es poder beneficiar en un futuro a las poblaciones rurales que no cuentan con un servicio de energía eléctrica, mejorando su calidad de vida.
- Ambiental: aprovechamiento de la materia orgánica.
- Académico: ya que se aplican diferentes áreas del conocimiento de la carrera.
- Tecnológico: la puesta en marcha del motor con biogás representa un avance ya que hasta ahora las investigaciones solo presentan un estudio de factibilidad.

## **8. ANTECEDENTES**

### 8.1 Biodigestor

La facultad tecnológica cuenta con un biodigestor de cúpula fija con las siguientes especificaciones:

- Tanque de polietileno de 60 galones, aproximadamente 0,227 m<sup>3</sup> de volumen
- Molino para granos en fundición, con motor eléctrico monofásico de ½ hp de potencia, poleas, correa de transmisión, tolva de alimentación, recipientes plásticos, todo montado en una estructura de ángulo.
- Tubería de carga y descarga: se utilizó tubo sanitario en PVC de diámetro 3", semicodos, uniones, buje de reducción hasta en el tanque de biodigestión. Su función es transportar la biomasa reducida que ya está mezclada con agua desde el molino hasta el tanque.

La tubería de descarga también está compuesta por tubo sanitario en PVC de diámetro 3", semicodos uniones y buje de reducción. Estos se acoplan desde el tanque de biodigestion hasta un recipiente adaptado a la estructura. Este recipiente está colocado con el fin de utilizarlo como un tanque de

compensación y control de nivel del biodigestor además de servir como depósito de almacenamiento de baja capacidad y biomasa ya degradada.

- Tubería de salida del gas: se utilizó una tubería de presión en PVC de diámetro ½" y 3", accesorios como uniones universales, adaptadores macho y hembra, empaques en caucho, válvulas de cierre rápido, codos uniones "T" y bujes roscados de ¼ NPT para la tubería de ½"; para la tubería de 3" se utilizaron bujes de reducción, "T" sanitaria, adaptador macho hembra, unión y empaque en caucho. En el extremo se colocó un adaptador roscado para la manguera. La "T" sanitaria se colocó como trampa de humedad aprovechando la diferencia de diámetros que permiten hacer los bujes de reducción, esta trampa tiene un sistema de purga que se hace con la válvula de cierre rápido en su parte inferior.

La tubería de alta presión de 3", los adaptadores macho, hembra, la unión, el empaque de caucho y los bujes de reducción, son utilizados como trampa de H<sub>2</sub>S o ácido sulfhídrico el cual es un generador de malos olores.

También se cuenta con un manómetro de 0 a 15 psi y una válvula de alivio de presión para seguridad y control del sistema.

- Para el soporte de los elementos del biodigestor, se construyó una estructura metálica en ángulo de 1"x1/8" la cual soporta el peso de los elementos más la biomasa; también cuenta con dos ruedas fijas al frente y 2 ruedas de giro libre en la parte posterior con una altura total de 65mm, para facilitar su traslado sea lleno o vacío el tanque del biodigestor.
- Tanque de almacenamiento de biogás: consta de una caneca metálica sin tapa de 55 galones de capacidad que contiene agua y otra caneca más pequeña de 40 galones de capacidad, también sin tapa en posición invertida o boca abajo, se le acoplaron 3 guías para el desplazamiento vertical hecho por la presión del gas, el agua garantiza un sello hidráulico este se une al biodigestor a través de una manguera que está acoplada a un miple y tubería de ½" con una llave de paso de cierre rápido.

- Volumen de depósito de gas: 0.40 m<sup>3</sup>
- Tanque cuadrado de mezcla con dimensiones: 60x60x50 cm

## CARGAS DE MATERIA ORGÁNICA

### - Primera carga

Tabla 1 Primera carga

COMPONENTE	CANTIDAD
Agua	32 litros
Iniciador (rumen)	7 litros
Residuos sólidos	
- Cáscaras de papa	7 Kg
- Cáscaras de plátano	7 Kg
- Cáscaras de piña	6 Kg
- Zanahoria	6 Kg
- Repollo	6Kg
Carbonato de calcio	2,8 Kg

Los residuos ya molidos se mezclan con agua a una temperatura de 45 °C formando así un sustrato y este se introduce en el biodigestor a través de la tubería de carga, el objetivo de calentar el agua es generar un ambiente óptimo a los residuos para favorecer una mejor degradación en el proceso, además el tanque está recubierto de un aislante térmico para impedir en lo posible las pérdidas de calor.

Se procedió a agregar el iniciador (rumen bovino) el cual es una semilla lista de bacterias metanogénicas, resaltando la importancia controlar factores como el pH el cual debe estar en lo posible en un valor neutro de (7) o muy cercano; para ello se debe controlar este parámetro realizando mediciones periódicamente con un pHmetro el cual es facilitado por el laboratorio de química de la facultad.

Tabla 2 Valor del pH

Componentes de mezcla	Valor pH
Residuos de comida	5,4
Inoculo (rumen)	7,49
Agua	6,5

La mezcla de los componentes o sustrato resultante tiene un pH de 5,66 (ácido), se procede a agregar carbonato de calcio para elevarlo, el cual se iba agregando de 200g y se tomaron lecturas de pH hasta llegar a agregar 2 Kg donde estabilizo y no siguió subiendo, dando como resultado un pH de 5,96, con este valor de pH se procede a cerrar el tanque del biodigestor herméticamente para evitar entradas de aire, y así iniciar el proceso de digestión anaerobia; la temperatura en el momento de cierre del digestor es de 19 °C.

Transcurridos 15 días de la carga inicial, se observó que ya se había generado biogás, se acercó un encendedor común a la salida de la tubería de gas, se obtuvo una llama por espacio de 15 minutos.

A partir de ese momento el valor de pH empezó a descender quedando en una etapa ácida (pH=5,6) y no se volvió entonces a generar gas, se intentó elevar el pH agregando el pH agregando más carbonato de calcio pero la concentración de este elemento creo un ambiente tóxico para la generación de nuevas bacterias.

### **Carga y descarga**

Con respecto a la carga y descarga de residuos en el biodigestor, se realizó un proceso con el fin de regenerar la biomasa existente y así volver a generar biogás, tratando en lo posible de aumentar el pH las cuales se hacían cada dos o tres días y se retiraban muestras de biomasa que ya hubieran cumplido su ciclo en el tanque. Estás se iniciaron 60 días después de la carga inicial.

Después de dos semanas de carga y descarga se observó que no había ningún efecto en el pH, por este motivo se optó por reiniciar el proceso con una biomasa nueva y desechar el contenido del tanque en su totalidad.

### **Segunda carga**

La temperatura de cierre para esta segunda carga es de 20 °C, de igual manera el pH medido fue de 6,19.



Tabla 3 Segunda carga

COMPONENTE	CANTIDAD
Agua	32 litros
Iniciador (rumen)	5 litros
Residuos sólidos	
- Cáscaras de papa	10 Kg
- Cáscaras de plátano	10 Kg
- Cáscaras de piña	4 Kg
- Zanahoria	4 Kg
- Repollo	4 Kg
Carbonato de calcio	800 g

La duración de etapa fue de 60 días en los cuáles no se pudo obtener biogás ya que no hubo llama al probarse en la tubería de salida de gas, aunque se generaron poca cantidad de gases como CO y CO<sub>2</sub> los cuales no son combustibles.

El valor del pH se mantuvo alto los primeros días de la investigación pero después cayo drásticamente y no se pudo volver a subir, de igual forma la producción de gas, hasta los primeros 30 días después no se volvió a generar gas, aunque solo fuera CO<sub>2</sub> u otro gas.

La generación de gas es proporcional al valor pH, con valores bajos de este parámetro la producción de gas desciende drásticamente hasta desaparecer, esta caída de pH se debe controlar y verificar constantemente, además el elemento estabilizador, en este caso, e bicarbonato se debe mezclar periódicamente ya que tiende a precipitarse y no actúan con los ácidos que se van produciendo en las diferentes reacciones que ocurren en la digestión anaerobia.

### **Tercera carga**

Para esta etapa se consideraron algunos cambios en la metodología de carga para el biodigestor, ya que se debe tomar la incidencia de la concentración de

compuestos orgánicos presente en el sustrato, de tal modo que al realizar la carga se debe diluir aún más en agua la cantidad de residuos de comida se van a utilizar, en una proporción de 10 partes de agua con 1 parte de residuos de comida, y no usar la proporción de 1 a 1 usada en las dos primeras etapas del proyecto.

Se decide utilizar el 0,5% del peso de la biomasa en carbonato de calcio; además se observa el descenso de pH en espacio de 1 día, por tal motivo es necesario tener constantemente una mezcla o agitación del sustrato dentro del tanque de biodigestión para que haya una completa interacción entre la biomasa que tiende a acidificarse y los ingredientes estabilizadores como el carbonato de calcio

#### 8.2 Motor de dos tiempos

También se cuenta con un motor de dos tiempos con las siguientes especificaciones:

##### - **Parámetros de funcionamiento:**

#### **ELECTRICO**

- Voltaje del sistema: 12 Volt
- Polaridad: Negativo a Masa

#### **TERMICO**

- Rango de temperatura de funcionamiento del aire de entrada a la máquina:  
-40 °C a + 20 °C

#### **MECANICO**

- Sentido de giro: horario
- Velocidad nominal: 800 rpm
- Velocidad máxima: 21000 rpm
- Diámetro del estator; 128 mm

## **CARACTERÍSTICAS**

- Dos ventiladores internos de diseño exclusivo, ventilan por separado los componentes electrónicos, bobinado delantero, bobinado trasero y el rotor.
- Variedad de aplicaciones.
- Variedad de montajes bornes de salida.
- Amplio rango de temperatura de funcionamiento.

### **Motor de ignición por chispa con carga de presión y aspiración natural**

#### **Parámetros hallados de la investigación**

- Potencia teórica del gas natural 4,624 KW
- Potencia al freno o bruta 3,93 KW
- - Factores de corrección
  
- Desplazamiento en litros= 0,100
- Velocidad del motor en m-1=425 RPM
- Flujo de combustible g/s = 0.22
- Pd= 75 kPa
- T= 291,5 K
- Aa=1.37

Tabla 4 Parámetros del motor para calcular la eficiencia

<b>Parámetro</b>	<b>Gasolina</b>	<b>Gas natural domiciliario</b>
Poder calorífico (KJ/Kg)	43950	39900
Potencia máxima (KW)	0,75	0,65
Consumo de combustible (Kg/s)	0,22x10 <sup>-3</sup>	0,172x10 <sup>-3</sup>

- Eficiencia de rendimiento
  - 7,75% para la gasolina
  - 9,47% para el gas natural
  - Potencia máxima del gas: 0,65 KW
  - Potencia máxima de la gasolina: 0,75 KW
  - Perdida de potencia de gas respecto a la gasolina es aproximadamente el 13,33%

Tabla 5 Valores de torque máximo

Combustible	Torque con carga	Torque sin carga
Gasolina E10	0,86 N/m	0,92 N/m
Gas natural domiciliario	0,82 N/m	0,86N/m

- **Comparación de potencias**

Tabla 6 Comparación datos de potencia

Dato	Gasolina		Gas natural domiciliario	
Potencia teórica del motor (bruta)	2,02 KW		1,96 KW	
Potencia del motor según el fabricante	1,5 KW		N/A	
Prueba de potencia en el motor (con potencia corregida)	Con carga	Sin carga	Con carga	Sin carga
	0,73 KW	0,77 KW	0,65 KW	0,72 KW

- **Variables para el diseño de una planta eléctrica con biodigestor**

Tabla 7 Parámetros de funcionamiento del motor

Parámetro	Valor
Flujo de aire	0,77 Kg/s
Velocidad media del aire	20,88 m/s
Velocidad media del biogás	61,17 m/s
Flujo volumétrico del aire	$4,2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

Flujo volumétrico del biogás	$2,81 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
---------------------------------	--

**- Diseño del mezclados según Mitzlaff**

Tabla 8 Parámetros constructivos del mezclador calculados por el método Mitzlaff

Método Mitzlaff	$A_i$	$d_{Ai}$	$A_T$	$d_{AT}$	$A_d$	$d_{Ad}$
Biogás	$1,327 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	13 mm	$2,79 \times 10^{-5} \text{ m}^2$	5,97 mm	$1,327 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ $\geq$ $4,593 \times 10^{-6} \text{ m}^2$	5,05mm $\geq$ 2,41mm

- Flujo volumétrico de biogás que consume el motor: 1,01 m<sup>3</sup>/h
- Volumen del motor para funcionamiento de 2 horas: 2,02 m<sup>3</sup>/h

**- Recomendaciones por parte de los autores**

Diseñar un generador AC que aproveche las revoluciones máximas del motor 7000 rpm y una potencia máxima de 1 HP ya que comercialmente solo se consiguen de mínimo 2 HP de potencia.

## 9. OBJETIVO

### 9.1 Objetivos Generales

- Poner en funcionamiento un motor de 2T de 1.96KW accionado con biogás generado en la Facultad Tecnológica de la Universidad Francisco José de Caldas.
- Diseñar un sistema de generación de energía eléctrica con motor de combustión interna accionado con biogás para la vereda de Quimbita del municipio de Manta Cundinamarca.

## 9.2 Objetivos específicos

- Calcular la cantidad de biomasa necesaria para la generación de biogás y hacer pruebas de operación del motor.
- Evaluar la potencia generada por el motor operado con biogás.
- Calcular la demanda de energía eléctrica promedio diaria de la vereda de Quimbita del municipio de Manta.
- Estimar la cantidad y tipo de biomasa disponible para la generación eléctrica
- Realizar un estudio de costos para la implementación del sistema

## **10. METODOLOGÍA**

Para el desarrollo de este proyecto, inicialmente se verificará el estado y funcionamiento del biodigestor y motor, prosiguiendo a realizar los cálculos necesarios para saber la cantidad de biomasa requerida para obtener el biogás para el funcionamiento óptimo del motor, una vez obtenidos dichos cálculos, se harán las cargas de materia orgánica al biodigestor, y posteriormente implementar el sistema de acople de los dos proyectos.

En base a los resultados obtenidos se procederá a realizar el estudio de demanda energética de la vereda de Quimbita del municipio de Manta, iniciando con el proceso de diseño, selección del biodigestor, motor y generador para que el sistema alcance a cubrir de manera eficaz la energía requerida.

Una vez realizado el proceso de diseño, se realizará un estudio económico estimando el costo del mismo y la recuperación de la inversión en un futuro.

## **11. MARCO TEÓRICO**

El término biomasa se refiere entonces a cualquier tipo de materia orgánica que tiene su origen en proceso biológico siendo ejemplo de esta biomasa la madera, los desechos agrícolas y el estiércol animal; la biomasa puede convertirse en energía a través de dos procesos: el bioquímico, en el cual se ubica la tecnología del biogás, y el termoquímico. [Posso 2002]. La biomasa se clasifica de acuerdo con las siguientes categorías [Posso]: natural, que corresponde a la que se produce espontáneamente en la naturaleza, como bosques, atórrales, hierbazales, entre otros residual, obtenida de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, como los estiércoles que son usados como materia prima para la producción de biogás; y de plantaciones energéticas, que corresponde a cultivos energéticos, es decir, a plantaciones que están dedicadas a la producción de un combustible como la caña de azúcar, el maíz, especies de palma entre otros. [FAO 2008].

### **11.1 LA DIGESTIÓN ANAEROBIA**

El tratamiento anaeróbico es un proceso microbiológico en ausencia de oxígeno, en el que la materia orgánica se transforma por acción de microorganismos en biogás y bioabono [Yank et al., sf]; en él se implica la realización de una serie de reacciones bioquímicas donde participan microorganismos, de los cuales una parte son oxidados y completamente por el carbono formando anhídrido carbónico, mientras otra es reducida en alto grado para formar metano [Guevara]. El proceso anaeróbico ocurre en cuatro etapas: [Vargas 1992; Guevara 1996; Hilbert2003], hidrólisis, acido génesis, acetanogénesis y metanogénesis [Ramón et al.2006]

Tabla 9. Residuos vegetales y posible producción de biogás [Álvarez et al.,sf].

Material fresco	% sólidos totales	% sólidos orgánicos	Litros de biogás por un kg de sólidos orgánicos
Paja de arroz	89	93	220
Paja de trigo	82	94	250
Paja de maíz	80	91	410
Hierba fresca	24	89	410
Jacinto de agua	7	75	325
Bagazo	65	78	160
Desecho de verdura	12	86	350

- **Hidrolisis:** En esta etapa, los substratos complejos (celulosa, proteína y lípidos) son hidrolizados en compuestos solubles (azúcares, aminoácidos y grasas) por la acción de enzimas extracelulares de las bacterias.
- **Acidogénesis:** En esta etapa, los compuestos solubles son fermentados a ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico), alcoholes hidrógeno y CO<sub>2</sub>. Esta etapa se conoce también como fermentativa. Es decir, es un periodo de producción intensiva de ácidos, que se inicia con los alimentos y compuestos de más fácil descomposición, como las grasas, donde hay una alta producción de dióxidos de carbono (CO<sub>2</sub>) ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>S), ácidos orgánicos y bicarbonatos; su pH se encuentra en la zona ácida, con valores entre 5.1 y 6.8 [Guevara 1996]
- **Acetanogénesis:** Esta etapa ocurre cuando las bacterias acetogénicas oxidan el ácido propiónico y el butírico hasta el acético e hidrógeno, que son los verdaderos substratos metanogénicos. Es decir, es un periodo donde se producen ataques a los ácidos orgánicos y compuestos nitrosos, en pequeñas cantidades hay producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrógeno e hidrógeno, bicarbonatos y de compuestos amoniacales; se caracteriza por presentar mal olor debido a la presencia de ácidos sulfhídrico, (H<sub>2</sub>S), flotación



de gran parte de sus sólidos, y un pH aún en la zona ácida con valores entre 6.6 y 6.8 [Guevara 1996]

- Metanogénesis:** En esta etapa, los últimos compuestos son tomados dentro de las células bacteriales metenogénicas convirtiéndolos en metano y excretándolo fuera de la célula. Este es un periodo de digestión intensiva, de carácter de fermentación alcalina, en el cual hay una digestión de las materias resistentes, de las proteínas, de los aminoácidos, de la celulosa; se caracteriza por la producción de sales de ácidos orgánicos y volúmenes de gas, e una mezcla donde ay un alto porcentaje de metano, y el resto corresponde a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y nitrógeno [Guevara 1996]. Como característica del material digerido, están el olor a alquitrán, hay pequeñas cantidades de sólidos flotantes, y el pH se ubica en la zona alcalina, con valores entre 6.9 y 7.4 [Guevara 1996].

La figura 1, resume las distintas características de cada una de las diferentes etapas mencionadas, en el cual se han agrupado en dos grandes procesos, y se muestran los principales compuestos químicos en el que ellos intervienen [Hilbert 2003]

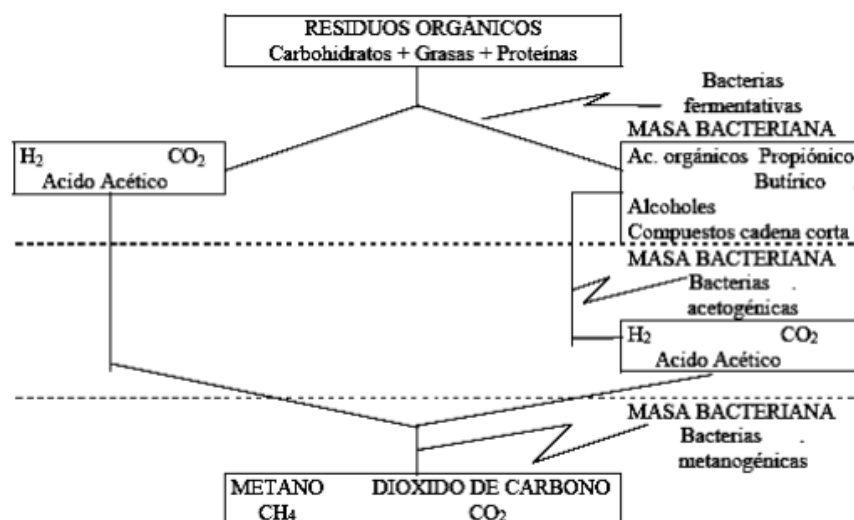


Figura 4 Síntesis de las etapas presentes en la digestión anaeróbica

## 11.2      **CONDICIONES DEL PROCESO ANAEROBIO**

En el proceso de tratamiento anaerobio de la materia orgánica, se requiere de las siguientes condiciones [Yank et al., sf; Vargas 1999; Guevara 1996; Ramón et al. 2006]

- **pH:** Este parámetro determina la inhibición o toxicidad de las bacterias metanogénicas, ocurriendo esta patología cuando es inferior a 6.0 [Vargas 2006]. Un adecuado funcionamiento se presentará con un pH en el biodigestor entre 6.5 y 7.5 [Vargas 2006].
- **Temperatura:** Un adecuado funcionamiento del biodigestor para cada ambiente, recomienda los siguientes rangos de temperatura: 0 – 20 °C, para el ambiente psicofílico; 20 – 45 °C, para el ambiente termofílico [Alcayaga et al. 1999]. Las bacterias crecen en cada uno de estos ambientes son organismos diferentes [Vargas 2006]. Torres & Follari s.f., y Guevara 1996, sugieren controlar la temperatura, para aumentar la eficiencia, usando serpentines de agua caliente dentro del biodigestor, con el objetivo de aumentar la temperatura del efluente.
- **Tiempo de retención:** El tiempo de retención es definido como el periodo de tiempo que permanece la materia orgánica dentro de sistema para alcanzar la degradación. El tiempo de retención está directamente relacionado con la temperatura ambiente y en condiciones óptimas del proceso, con una temperatura de 30 °C, el tiempo de retención (Tr) debería ser de 20 días; sin embargo, algunos autores han sugerido para cada ambiente los respectivos tiempos de retención, que comúnmente se presentan en biodigestores, como se muestra en la tabla 2 [Olaya 2006], debido a la variación de la temperatura, la cual es difícil de controlar. Esta variación de temperatura afecta el tiempo de retención, el cual varía de acuerdo con el factor de corrección que puede ser determinado con la figura 2 [Vargas 1992].

Tabla 10. Tiempo de retención [Olaya]

Ambiente	Tiempo de retención [días]
Psicrofílico	>40
Mesofílico	10 – 40
Termofílico	< 10

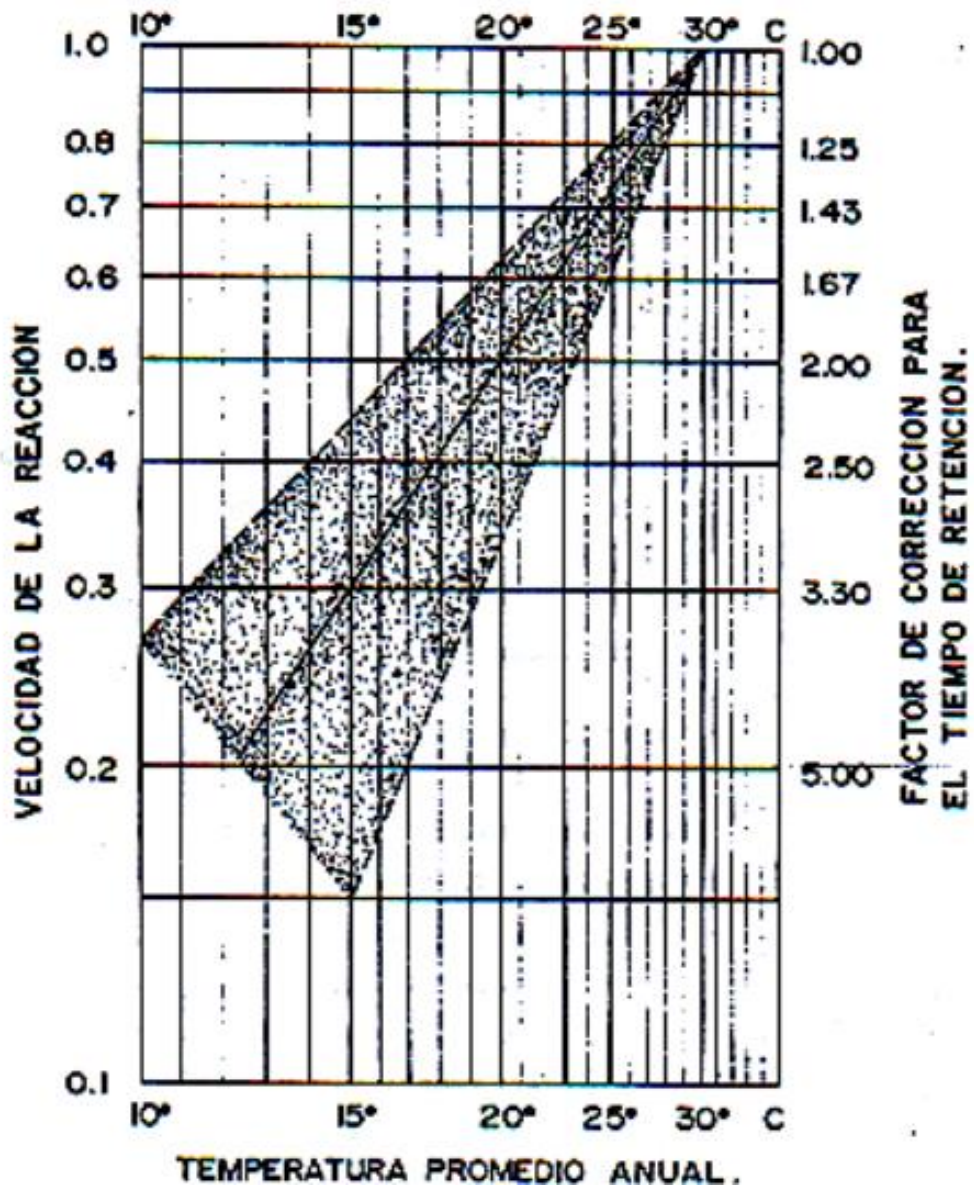


Figura 5 Influencia de la temperatura sobre el tiempo de retención [Vargas 1999]

- **Relación C/N:** La relación C/N influye sobre la producción de biogás, siendo la relación adecuada entre 20:1 y 30:1 [Alcayaga et al. 1999].
- **Amoniaco:** Para un correcto funcionamiento del biodigestor, los niveles dentro del sistema deben mantenerse por debajo de los 2000 mg/l [Álvarez et al., sf].

### 11.3 BIODIGESTOR DE CUPULA FIJA O TIPO CHINO

Mostrada esquemáticamente en la figura 3 [Robles- Gil 2001; Olaya 2006], se compone de un digestor construido en la mampostería y en un domo fijo e inmóvil cerrado, donde se almacena el biogás. Durante la producción de biogás, la masa de fermentación es desplazada hacia el tanque de compensación y cuando se extrae el gas, la masa líquida vuelve hacia el biodigestor. A través de constantes oscilaciones de la masa de fermentación en la parte superior de la cúpula, se evita la formación de capa flotante [Vargas 1992]. Es conocido también como biodigestor chino, y debido a que el gas debe ser liberado continuamente para reducir la presión interna, se utilizan las instalaciones donde el consumo sea continuo o para almacenar el biogás en un depósito aparte [Olaya 2006].

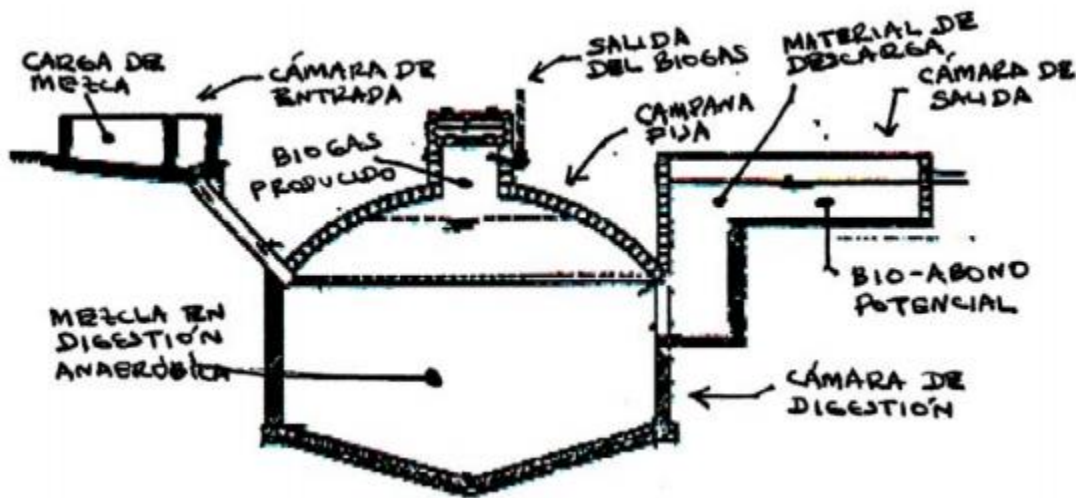


Figura 6 Esquema de una planta de cúpula fija [Robles-Gil 2001; Olaya 2006]

Entre sus ventajas se tiene una larga vida útil de aproximadamente 20 años; no posee partes móviles y/o metálicas que se pueda oxidar, aunque la construcción en concreto deberá ser durable; y su construcción es subterránea, que lo protege contra bajas temperaturas [Hilbert 2003]. Entre sus desventajas se encuentra que la presión de gas no es constante; la presión puede ser muy alta, por ello la cúpula tiene que ser cuidadosamente sellada e impermeabilizada para evitar porosidades, grietas y escapes de gas.

#### 11.4 PRODUCTOS OBTENIDOS: EL BIOGÁS Y EL BIOABONO

El biogás se puede definir como una mezcla de gases combustibles y su composición depende del tipo de material orgánico utilizado para su producción, como se presenta en la tabla 3 [Botero & Preston 1986]. El biogás como cualquier otro combustible gaseoso, puede ser usado para fines domésticos e industriales [Luz, sf]. Diversos dispositivos son utilizados para aprovechar el biogás [Lutz, sf] como estufas, lámparas calentadores radiantes y como combustible para motores diesel o a gasolina, como se muestra esquemáticamente en la figura 4 [Vargas 1992; BUN-CA 2002]

Tabla 11. Composición química del biogás [Botero & Preston 1986]

Componente	Composición aproximada [%]
Metano (CH <sub>4</sub> )	60 – 70
Gas carbónico (CO <sub>2</sub> )	30 – 40
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	1.0
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	0.5
Monóxido de carbono (CO)	0.1
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	0.1
Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> S)	0.1

El efluente tratado que sale de las plantas es un gran fertilizante orgánico, puesto que la mayoría de sus nutrientes principales como nitrógeno, fósforo y potasio se conservan, y es conocido como el bioabono [Gómez & Viniegra 1979; Guevara 1996; Ramón et al. 2006]; su composición por lo general incluye un 8.5% de materia orgánica, 206% de fósforo, y 1% de potasio, con pH de 7.5 [Soria et al. 2001]. El uso adecuado de los nutrientes reciclados proporciona mejoramiento en la calidad del suelo y en las siembras representando un beneficio para el agricultor [Mc Garry & Stainfortf 1978; Guevara 1996]; se ha comprobado que un metro cubico de bioabono producido y aplicado diariamente, puede fertilizar más de dos hectáreas de suelo [Soria et al. 2001]. El bioabono o efluente líquido puede ser aplicado en forma normal mediante la utilización de recipientes, por gravedad o por bombero [Vargas 1992; Guevara 1996].

## 11.5 APLICACIONES DEL BIOGÁS

Existen diversas opciones para la utilización del biogás. Dentro de éstas destacan la producción de calor o vapor, generación de electricidad y combustible de vehículos:

- **Producción de calor o vapor:** El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica (calor). En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua. Los sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación. Los quemadores de gas convencionales se pueden adaptar fácilmente para operar con biogás, simplemente cambiando la relación aire-gas. El requerimiento de calidad del biogás para quemadores es bajo. Se necesita alcanzar una presión de gas de 8 a 25 mbar y mantener niveles de H<sub>2</sub>S inferiores a 100 ppm para conseguir un punto de rocío de 150°C.
- **Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad:** Los sistemas combinados de calor y electricidad utilizan la electricidad generada por el combustible y el calor residual que se genera. Algunos sistemas combinados producen principalmente calor y la electricidad es secundaria. Otros sistemas producen principalmente electricidad y el calor residual se utiliza para calentar el agua del proceso. En ambos casos, se aumenta la eficiencia del proceso en contraste si se utilizara el biogás sólo para producir electricidad o calor. Las turbinas de gas (microturbinas, desde 25 hasta 100 kW y turbinas grandes, > 100 kW) se pueden utilizar para la producción de calor y energía, con una eficiencia comparable a los motores de encendido por chispa y con un bajo mantenimiento. Sin embargo, los motores de combustión interna son los usados más comúnmente en este tipo de aplicaciones. El uso de biogás en estos sistemas requiere la remoción de H<sub>2</sub>S (bajo 100 ppm) y vapor de agua. Las celdas de combustible se consideran

las plantas de energía a pequeña escala del futuro para la producción de electricidad y calor con una eficiencia superior al 60% y bajas emisiones.

- **Combustible para vehículos:** El uso vehicular del biogás es posible y en la realidad se ha empleado desde hace bastante tiempo. Para esto, el biogás debe tener una calidad similar a la del gas natural, para usarse en vehículos que se han acondicionado para el funcionamiento con gas natural. La mayoría de vehículos de esta categoría han sido equipados con un tanque de gas y un sistema de suministro de gas, además del sistema de gasolina normal de combustible. 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. 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.

## 11.6 MOTOR ALTERNATIVO DE DOS TIEMPOS

En el ciclo de dos tiempos se realiza el ciclo completo de un motor de cuatro tiempos, pero en dos carreras de pistón.

Son motores mucho más simples que los de cuatro tiempos pues no poseen válvulas ni distribución. En la figura 4 se puede ver un corte transversal del motor de dos tiempos para poder ver las partes internas del motor.



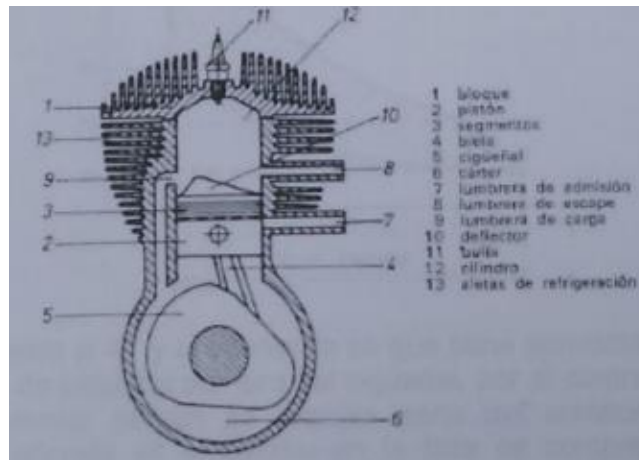


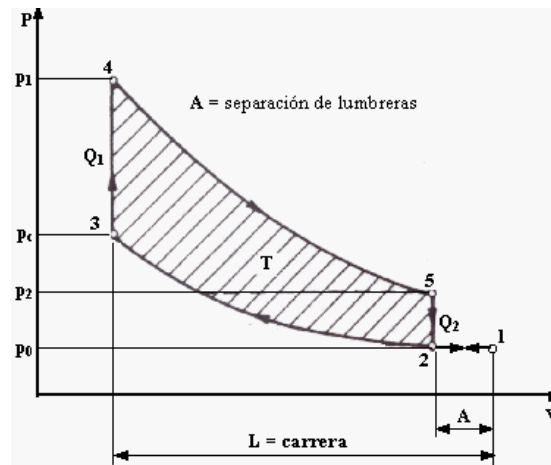
Figura 7 Motor de dos tiempos

## Funcionamiento

Primera media vuelta de cigüeñal: el pistón sube comprimiendo la mezcla fresca y descubriendo una (admisión y compresión) lumbrera (orificio situado en la parte inferior de la pared de cilindro) o habiéndose una válvula por donde entra la mezcla al cárter. Se produce la chispa y comienza a bajar el pistón.

Segunda media vuelta del cigüeñal: casi al final de la bajada del pistón se descubre la lumbrera de (expansión + escape) escape o se abre la válvula de escape y se expulsan los productos quemados (inicio de expulsión). Poco después entra el combustible que entró al cárter, a través de la lumbrera de transferencia y entra mezcla fresca procedente del cárter desalojando los productos quemados a través de la lumbrera de escape.

Figura 5 Ciclo teórico de un motor de dos tiempos



El proceso es similar al 4T la diferencia es que tiene aproximadamente un poco menos del doble de potencia por giro de cigüeñal, por el contrario el rendimiento es ligeramente menor porque se expulsa parte del combustible sin quemar (cortocircuito) y además en el cilindro en la fase de compresión junto con la mezcla fresca queda algo de gas quemado no desalojado.

En la cabeza de pistón suele haber una cresta para evitar en la medida de lo posible el proceso de cortocircuito.

## 11.7 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE ENCENDIDO POR CHISPA

Los motores de encendido por chispa o motores otto pueden funcionar con 100% de biogás como combustible. Por ejemplo para la alimentación de gas se requieren elementos extra para su pre- compresión. Pre-comprimiendo y posteriormente enfriando la mezcla la eficiencia puede incrementarse en un factor de 1.5.

En un motor Otto el aire y el combustible entran a través del carburador, cuya función es mezclarlos. Esta mezcla se comprime hasta una temperatura menor a la de autoencendido, con el aumento de la relación de compresión aumenta la eficiencia pero si la temperatura de auto-ignición el combustible puede “quemarse”

antes de tiempo y éste se consumirá más rápidamente, además, se producirá un sonido llamado “golpeteo” del motor. Por lo tanto para el caso de los motores Otto se tiene un control de la relación de compresión de entre 7 y 10 con una máximo de 12. Es posible también adicionar un antidetonante, pero algunos usados son contaminantes.

Los motores Otto cuentan con controles de encendido de la chispa, por medio de la descarga de un capacitor lo que permite un encendido exacto lo que resulta en mejoras de los tiempos de combustión que provoca una disminución en las emisiones y más tiempo de servicio en el sistema de encendido. Es posible trabajar con gas natural, al inicio de la operación de la planta, cuando el biogás que se extrae no tiene la suficiente calidad para usarse en los motores.

No es recomendable que se elimine por completo el CO<sub>2</sub> y el CO del biogás, ya que estos compuestos impiden que el biogás detone cuando se somete a compresión. Pero a la vez, si existe una cantidad excesiva (>45 % por volumen) provoca una pérdida en fuerza de los motores.

Un biogás con un contenido de metano entre 55 y 65% al entrar en combustión, produce una llama azul y puede tener un poder calorífico entre 22.000 a 26.000 KJ/M<sup>3</sup>.

Si se tiene en cuenta que la relación de compresión del metano o gas natural está del orden de 8/1, siendo similar a la de otros combustibles gaseosos y gasolinas y además el óptimo índice de octanos (similar al de una gasolina etílica), su relación aire/ compresión en peso (la relación de compresión para la gasolina es de 7.5/1), la posibilidad de compresión por encima de la establecida para motores de combustión del ciclo Otto (130 P.S.I. a.c.s.t.p.) permite predecir un buen comportamiento del biogás y, específicamente, el metano como combustible en motores de combustión especialmente para aquellos que trabajan con gas y gasolina, aunque es factible, por la alta compresibilidad, poder utilizarse en motores de combustión tipo diesel.

Cuando se necesita disponer de biogás para utilizarse en motores de combustión estacionarios, es recomendable almacenar el gas en recipientes similares a los utilizados para el envase de oxígeno o de gas comercial.

El acondicionamiento de motores a gas radica en los cambios en el sistema de alimentación y dosificación (carburación) del combustible a las cámaras de compresión del motor.



Prueba de hermeticidad del biodigestor de la facultad																												
Pruebas motor de combustión interna en la facultad																												
Calcular la cantidad de biomasa necesaria para la operación del motor de la facultad																												
Carga del Biodigestor.																												
Seguimiento al biodigestor																												
Pruebas de generación de biogás.																												
Estimar la potencia generada por el motor operado con biogás.																												
Calculo de la demanda de energía diaria promedio de la vereda Quimbita del municipio de Manta.																												
Diseño y selección del biodigestor para la vereda																												
Diseño y selección del motor y generador para la vereda																												



### 13. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

Las cifras mostradas a continuación son una estimación del presupuesto requerido para el desarrollo del proyecto.

TABLA. Presupuesto de ejecución del proyecto.

FASE	DESCRIPCIÓN DE LA FASE	ACTIVIDAD	PRESUPUESTO (\$)
1	Identificación de la zona de influencia	Consulta de fuentes bibliográficas y de internet	50.000
2	Caracterización del proyecto	Consulta de fuentes en internet	30.000
		Obtención de documentos y especificaciones	50.000
3	Diseño del conector biodigestor y el motor de 2T	Consultas, obtención de datos y realización de cálculos.	50.000
		Utilización de software de diseño mecánico bajo licenciamiento de la UDFJC	35.000
4	Diseño de balance mezcla aire combustible biogás	Consultas, obtención de datos y realización de cálculos.	35.000
5	Selección del Conector	Selección y compra de partes normalizadas del diseño	250.000
		Accesorios, herramienta y mano de obra	150.000
6	Diseño prototipo a comunidad rural	Consultas, obtención de datos y realización de cálculos.	250.000
		Gestión, consulta, viajes, diseño final	300.000
7	Instalación de sistema biodigestor motor	Ejecución de las pruebas	200.000
		Adecuación de diferentes montajes para el funcionamiento	100.000
8	Estudio resultado y balance de consumo energético	Gestión y comparación de resultados	150.000



9	Otros	Consultorías, asesorías y gastos derivados de la elaboración de documentos	600.000
	<b>TOTAL</b>		<b>\$2.250.000</b>

La financiación del proyecto será realizada por los autores, y solo bajo situaciones especiales se recurrirá a buscar financiación por parte de un ente interesado o por la misma Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

## 14. BIBLIOGRAFÍA

- ACEVEDO, P.;** (2006). Biodigestor de doble propósito – producción e investigación – para residuos de granja porcícola. Revista ION, 19 (1), 1-6, Diciembre.
- BOTERO B., R.; PRESTON, T.R.;** (1987). Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda – Universidad EARTH. San José, Costa Rica, 20p. BUNC-CA; (2002). Manuales sobre energía renovable: Biomasa. Biomass Users Network (BUN-CA), San José, Costa Rica, Septiembre, 42p.
- GUEVARA V., A.;** (1996). Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. Documento OPS/CEPIS/96. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – Organización Panamericana de la Salud. Lima, 80p.
- GUZMÁN S., J.C.;** (2008). Apuntes sobre consumo energético de biomasa. Diplomado en Energía SNAP, Proyecto No. 003/2008, PROLEÑA Soluciones Energéticas Eficientes, La Paz, Bolivia, febrero, 19p.
- HILBERT, J.A.;** (2003). Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. Buenos Aires, 57p. LUTZ, P.; (sf). Producción de biogás a través de fermentación seca de biomasa: La solución para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos e industriales. Documento Técnico.
- OLAYA, Y.;** (2006). Diseño de un biodigestor de cúpula fija. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.
- POSSO, F.;** (2002). Energía y ambiente: Pasado, presente y futuro. Parte Dos: Sistema energético basado en energías alternativas. Geoenseñanza, Vol. 7, (1-2), pp54-73.
- ROBLES-GIL, S.;** (2001). Información climatológica para la aplicación de la energía de la biomasa. Comisión de Climatología, Organización Meteorológica Mundial. La Paz, México, Agosto, 75p.
- VARGAS L., L.;** (1992). Los biodigestores, alternativa de tratamiento para residuos pecuarios. Tesis (Ingeniero Sanitario). Universidad del Valle, Santiago de Cali.