

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**EXTENSIÓN – LATACUNGA**



**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“GENERACIÓN DE GAS METANO A PARTIR DE DESECHOS ORGÁNICOS Y  
APLICACIÓN EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA  
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**DIEGO ANDRÉS CALERO TORRES**  
**CHRISTIAN RAMIRO NACIMBA TIPÁN**

**LATACUNGA, JULIO 2011**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN.**

El proyecto “**GENERACIÓN DE GAS METANO A PARTIR DE DESECHOS ORGÁNICOS Y APLICACIÓN EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**” fue realizado por Diego Andrés Calero Torres y Christian Nacimba Tipán, guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE en el reglamento de estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

El proyecto ha sido realizado como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Latacunga, Julio de 2011

---

**Ing. Luis Mena  
DIRECTOR**

---

**Ing. Nelly Flores  
CODIRECTOR**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

El proyecto “**GENERACIÓN DE GAS METANO A PARTIR DE DESECHOS ORGÁNICOS Y APLICACIÓN EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**” es de nuestra autoría, hemos investigado exhaustivamente las bibliografías referenciales que se incluyen al final de este documento para formular nuestras ideas haciéndonos responsables por ellas.

Latacunga, Julio de 2011

---

**Diego Andrés Calero T**  
**0401281332**

---

**Christian Ramiro Nacimba T.**  
**1716983042**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORIZACIÓN**

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca Virtual de la Institución el proyecto “**GENERACIÓN DE GAS METANO A PARTIR DE DESECHOS ORGÁNICOS Y APLICACIÓN EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Julio del 2011

---

**Diego Andrés Calero T**

**0401281332**

---

**Christian Ramiro Nacimba T.**

**1716983042**

## **DEDICATORIA**

A las tres personas que más amo Dios, Bacilio y Martha

Andrés

Dedico esta nueva meta a mis padres que me han apoyado en todo momento

Christian

## **AGRADECIMIENTOS**

Al dador de la vida por todo, a mis padres por la formación personal y apoyo, a la Escuela Politécnica del Ejército por la formación profesional, a los que creyeron por su fe, a los que criticaron porque me motivaron.

Andrés

Agradezco a mis padres por su apoyo y motivación en los momentos más complicados, a los ingenieros por sus conocimientos, a los amigos por los momentos inolvidables.

Christian.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Certificación.....</b>	<b>ii</b>
<b>Declaración de responsabilidad.....</b>	<b>iii</b>
<b>Autorización.....</b>	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>v</b>
<b>Agradecimientos.....</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos.....</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de tablas.....</b>	<b>xv</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>xvi</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
Tecnología de producción de biogás.....	1
- Problema nacional y mundial.....	1
- Alcance.....	2
- Justificación.....	4
- Resumen.....	4
- Objetivo general del proyecto.....	5
- Objetivo específico del proyecto.....	5
- Metas del proyecto.....	5
1.1 Biogás.....	6
1.1.1 Biogás como fuente de energía.....	6
a. Energía solar.....	6
b. Energía eólica.....	7
c. Energía de los nevados.....	7
d. Energía hidráulica.....	7
e. Biogás.....	8
- Aplicaciones.....	8
a. Cocinas de biogás.....	8
b. Hornos deshidratadores, secadores de grano.....	8
c. Calentadores térmicos.....	9

d.	Calefones.....	9
e.	Motores de combustión interna.....	10
f.	Equipos de cogeneración.....	10
g.	Producción de hidrogeno.....	10
h.	Otros usos.....	10
1.1.2	Propiedades del biogás.....	12
a.	Poder calorífico.....	12
b.	Índice de wobbe.....	13
c.	Temperatura de rocío.....	13
d.	Límites de inflamabilidad.....	14
1.1.3	Composición química del gas metano.....	16
a.	Estructura de Lewis.....	16
b.	Formula química.....	16
c.	Punto de fusión.....	16
d.	Punto de ebullición.....	16
e.	Temperatura de auto combustión.....	16
f.	Limite explosivo.....	16
g.	Presión critica.....	16
h.	Densidad nominal.....	16
-	Efectos del CO <sub>2</sub> en el biogás.....	18
-	Ácido sulfhídrico en el biogás.....	18
1.1.4	Descomposición anaeróbica.....	19
a.	fase hidrolítica.....	20
b.	Fase acida.....	21
c.	Fase metanogénica.....	21
-	Ventajas del proceso anaeróbico.....	23
1.1.5	Beneficios del biogás como energía.....	24
a.	beneficios ambientales.....	24
b.	Beneficios energéticos.....	26
c.	Beneficios económicos.....	27
1.2	Biomasa.....	28

1.2.1	Tipos de biomasa.....	31
a.	plantaciones energéticas.....	32
b.	Residuos forestales.....	33
c.	Desechos agrícolas.....	33
d.	Desechos urbanos.....	33
e.	Estiércoles de animales.....	34
1.2.2	Calidad de la biomasa.....	35
1.2.3	Tratamiento de la biomasa.....	35
a.	Clasificación.....	36
b.	Higienización.....	36
c.	Mezcla y homogenización.....	36
1.2.4	Características de la biomasa.....	37
a.	masa seca.....	37
b.	Masa volátil.....	37
c.	Carga orgánica volumétrica.....	38
1.3	Biodigestor.....	38
1.3.1	Descripción general.....	40
1.3.2	Partes del biodigestor.....	42
a.	tanque de mezcla.....	42
b.	Biodigestor.....	42
c.	Gasómetro.....	42
d.	Tanque de descarga.....	42
e.	Afluente.....	42
f.	Efluente.....	42
1.3.3	Tipos de biodigestores.....	43
a.	Cúpula fija.....	43
b.	Cúpula móvil.....	44
c.	Flujo continuo.....	45
d.	Carga en batch.....	46
1.3.4	Funcionamiento básico de los biodigestores.....	46
1.4	Fundamentos de la tecnología de producción de biogás.....	47

1.4.1	Ausencia de oxígeno.....	48
1.4.2	Carga volumétrica.....	48
1.4.3	Temperatura del proceso.....	49
1.4.4	Tiempo de retención hidráulica.....	50
1.4.5	Acidez de la mezcla.....	50
1.4.6	Agitación.....	51
1.4.7	Inhibidores del proceso.....	51
1.5	Productos obtenidos de esta tecnología.....	52
1.5.1	Biogás.....	52
1.5.2	Producción de abono.....	53
1.5.3	<b>CAPÍTULO II</b>	
2.-	Diseño de la planta de biogás.....	55
2.1	Parámetros de diseño.....	55
2.1.1	Biomasa.....	56
2.1.2	Temperatura del proceso.....	57
2.1.3	TRH.....	58
2.1.4	COV.....	58
2.1.5	Reducción de contaminación.....	58
2.1.6	Aplicabilidad.....	59
2.2	Especificaciones técnicas.....	59
2.2.1	Metodología de diseño.....	59
2.2.2	Datos del proyecto.....	60
2.2.3	Datos de biomasa.....	60
2.2.4	TRH y temperatura.....	64
2.2.5	Dilución.....	64
2.2.6	Selección de materiales.....	64
2.3	Dimensionamiento del sistema de producción de biogás.....	65
2.4	Determinación del tamaño del biodigestor.....	65
2.4.1	Tanque de carga.....	65
2.4.2	Biodigestor.....	66
a.	Metodología de diseño 1.....	66

b. Metodología de diseño 2.....	67
2.4.3 Tanque de descarga.....	68
2.4.4 Tanque de captación de biogás.....	68
2.4.5 Tanque de almacenamiento de biogás.....	68
2.5 Calculo de la producción diaria de metano.....	69
2.6 Construcción de biodigestor.....	70
2.6.1 Elección del tipo de biodigestor.....	70
2.6.1.1 Biodigestor sobre tierra.....	70
a. Metálicos.....	70
b. PVC.....	70
2.6.1.2 Biodigestor bajo tierra.....	71
a. Con membrana EPDM.....	71
b. De concreto.....	71
2.6.2 Elección del lugar.....	73
2.6.3 Excavación de la fosa.....	75
2.6.4 Colocación de ductos.....	76
2.6.5 Construcción del tanque reactor.....	77
2.6.6 Construcción de la tapa.....	78
2.6.7 Construcción del tanque de carga y descarga.....	79
2.6.8 Construcción de los medidores de presión.....	81
2.6.9 Construcción de gasómetro.....	81
2.6.10 Corta llamas.....	82
2.6.11 Tuberías de conducción de biogás.....	83
2.6.12 Trampas de agua.....	83
2.6.13 Filtro de H <sub>2</sub> S.....	84
2.6.14 Hermeticidad del tanque.....	85
<b>CAPÍTULO III</b>	
Aprovechamiento del biogás.....	90
3.1 Preparación del biogás.....	91
3.1.1 Eliminación de humedad.....	91
3.1.2 Reducción de CO <sub>2</sub> .....	92

3.1.3	Reducción de H <sub>2</sub> S.....	92
	a. filtro biológico.....	93
	b. Filtro de limalla de hierro.....	93
3.1.4	Calibración de la presión.....	93
3.1.5	Mezcla de aire biogás.....	94
3.2	Aprovechamiento en generadores.....	94
3.2.1	Motor diesel.....	95
3.2.2	Motor gasolina.....	96
3.2.3	Motor de gas.....	97
3.3	Generación de energía eléctrica.....	97
3.3.1	producción de biogás.....	97
3.3.2	Grado de eficiencia del módulo de generación.....	98
3.3.3	Porcentaje de gas metano.....	98
3.3.4	Porcentaje de eficiencia.....	98
	a. Grado de eficiencia del motor.....	98
	b. Grado de eficiencia del generador.....	98
	c. Grado de eficiencia térmico.....	98
	d. Porcentaje de eficiencia de la unidad de generación.....	99
3.3.5	Ventajas del biogás como combustible para generar energía eléctrica.....	99
3.4	Condiciones de suministro del biogás.....	100
3.4.1	Presión y temperatura.....	100
3.4.2	Humedad.....	100
<b>CAPÍTULO IV</b>		
	Planta eléctrica.....	102
	Determinación del tipo de planta eléctrica.....	102
	4.1.1 Motor de dos tiempos.....	103
	4.1.2 Motor de cuatro tiempos.....	103
4.1	Descripción de las partes de la planta eléctrica.....	104
	4.2.1 Motor.....	104
	4.2.2 Sistema de alimentación.....	104
	4.2.3 Sistema de encendido.....	105

4.2.4 Sistema de arranque.....	105
4.2.5 Lubricación.....	105
4.2.6 Refrigeración.....	105
4.2 Funcionamiento general del sistema.....	105
4.3.1 Precauciones.....	105
4.3.2 Características técnicas del motor.....	106
4.3 Adaptación del carburador del motor de combustión interna de la planta para consumir biogás.....	106
4.4.1 Diámetro de entrada del carburador.....	106
4.4.2 Calculo de la cantidad de aire.....	107
4.4.3 Cantidad de combustible.....	107
4.4.4 Diámetro de entrada del biogás.....	108
4.5 Circuito de alimentación de gas metano hacia la planta eléctrica.....	109
4.6 Cantidad de energía eléctrica vs. Cantidad de biogás.....	110

## **CAPÍTULO V**

Manual de manejo del biodigestor.....	113
5.1 Puesta en marcha.....	113
5.2 Manejo diario.....	115
5.3 Mantenimiento.....	118
5.3.1 Diario.....	118
5.3.2 Semanal.....	118
5.3.3 Mensual.....	119
5.3.4 Anual.....	119
5.4 Corrección de problemas.....	119
5.5 Normas de Seguridad.....	121
5.5.1 Nociones sobre gases.....	122
a. Inflamabilidad.....	122
b. Toxicidad.....	123
c. Oxidación.....	123

d. Corrosión.....	123
e. Contaminantes.....	123
f. Cancerígenos.....	124
5.5.2 Normas para la salud.....	124
5.5.3 Normas para proteger la vida.....	124
5.5.4 Normas para el manejo diario.....	125
5.5.5 Normas sobre riesgos de explosión.....	125
5.5.6 Normas varias.....	126
5.5.7 En caso de accidente.....	126
5.5.8 Zona de riesgo.....	127

## **CAPÍTULO VI**

6.- Conclusiones y recomendaciones.....	128
<b>6.1</b> Conclusiones.....	128
<b>6.2</b> Recomendaciones.....	130
BIBLIOGRAFÍA.....	132

## TABLAS

Tabla I.1 Usos del biogás vs. Otras energías alternativas.....	11
Tabla I.2 Aplicaciones para 1 m <sup>3</sup> de biogás.....	11
Tabla I.3 Usos del biogás en litros por hora.....	12
Tabla I.4 Propiedades del biogás.....	12
Tabla I.5 Propiedades de combustión del metano.....	14
Tabla I.6 Propiedades según su composición química.....	15
Tabla I.7 Poder calorífico de varios combustibles en Mj/Kg.....	15
Tabla I.8 Composición química del biogás según las fuentes que se obtiene.....	16
Tabla II.1 TRH.....	58
Tabla II.2 Datos del proyecto.....	60
Tabla II.3 Producción de estiércol para consumo biodigestor.....	61
Tabla II.4 Resultado del análisis físico-químico del estiércol.....	62
Tabla II.5 Composición de la biomasa en %.....	63
Tabla II.6 Composición de la biomasa en kg.....	63
Tabla IV.1 Especificaciones técnicas de la planta eléctrica.....	106
Tabla V.1 Bitácora de carga .....	117

## FIGURAS

Figura 1.1 Limite de inflamabilidad.....	14
Figura 1.2 Estructura de Lewis.....	16
Figura 1.3 Etapas de descomposición anaeróbica.....	20
Figura 1.4 Biomasa.....	28
Figura 1.5 Origen del metano.....	31
Figura 1.6 Biodigestor de cúpula fija.....	43
Figura 1.7 Biodigestor de cúpula móvil.....	44
Figura 1.8 Biodigestor de flujo continuo.....	45
Figura 2.1 Metodología de diseño de biodigestores.....	59
Figura 2.2 Composición de la biomasa.....	62
Figura 2.3 TRH.....	64
Figura 2.4 Ubicación 1 para planta de biogás.....	73
Figura 2.5 Ubicación 2 para planta de biogás.....	74
Figura 2.6 Ubicación definitiva de la planta de biogás.....	75
Figura 2.7 Excavación de la fosa.....	76
Figura 2.8 Excavación de los ductos.....	76
Figura 2.9 tanque reactor.....	77
Figura 2.10 Loza del tanque reactor.....	78
Figura 2.11 Molde de la tapa.....	78
Figura 2.12 Tapa.....	79
Figura 2.13 Tanque de carga.....	80
Figura 2.14 Tanque de descarga.....	80
Figura 2.15 Medidor de presión por columna de agua.....	81
Figura 2.16 Gasómetro.....	82
Figura 2.17 Corta llamas.....	82
Figura 2.18 Tuberías de conducción de biogás.....	83
Figura 2.19 Trampa de agua.....	84
Figura 2.20 Preparación de la superficie.....	85

Figura 2.21 Colocacion de silicón.....	86
Figura 2.22 Alisado de la superficie de silicón.....	86
Figura 2.23 Relleno de silicón.....	87
Figura 2.24 Preparación de la superficie hembra.....	87
Figura 2.25 Silicón en la hembra de la tapa.....	88
Figura 2.26 Alisado de la superficie de silicón en la hembra de la tapa.....	88
Figura 2.27 Seguridad en la tapa.....	89
Figura 3.1 Trampa de agua esquema.....	91
Figura 5.1 Zonas de riesgo.....	127
Figura 5.3 Zona de riesgo 0.....	127

# CAPÍTULO I

## TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

### **Un problema nacional y mundial:**

Estamos frente a una problemática mundial, los líderes de las potencias se sientan a dialogar para llegar a conclusiones efímeras que en gran parte son obviadas por los países involucrados, los foros mundiales se están saturando con debates candentes para llegar a reducir el impacto ambiental debido a las emisiones de efecto invernadero, en nuestro país el control de las industrias desde el punto de vista ambiental es casi nula y la contaminación por explotaciones intensivas agrícolas están a la orden del día, definitivamente la industria agrícola no posee herramientas para el tratamiento de los desechos que produce, una de sus alternativas es esparcir el estiércol en campo abierto produciendo grandes cantidades de gases dañinos y líquidos contaminantes de la tierra y aguas subterráneas, las sobras agrícolas son quemadas al ambiente produciendo grandes cantidades de CO<sub>2</sub>.

Se discute la terminación del petróleo como fuente de energía, las industrias dependientes de esta fuente energética están luchando contra estos gravísimos problemas. Nuestro país ha atravesado una de las crisis energéticas más graves de su historia, debido a la total dependencia de la central hidroeléctrica Paute para generación de energía eléctrica, trayendo como consecuencia millones de dólares en pérdidas.

Con estos antecedentes y conscientes de nuestra vocación enfocamos nuestro proyecto de grado para tratar de solucionar algunos de los problemas antes mencionados, con el tratamiento de la Biomasa contaminante para obtener y utilizar una energía alternativa renovable para la disminución de gases contaminantes y la generación de electricidad.

El correcto manejo del gas metano producido a partir de desechos orgánicos nos permite obtener varias formas de aprovechamiento, siendo la generación de energía eléctrica una de las hipótesis más atractivas tanto desde el punto de vista ambiental como del punto de vista financiero, en el presente estudio se pretende afirmar esta hipótesis para su posterior aprovechamiento en escala mayor, este proyecto nos servirá como base para industrializar la producción de una energía alternativa renovable, produciendo el combustible más económico del mercado nacional, reduciendo el impacto ambiental, disminuyendo la dependencia del petróleo, generando riqueza, abriendo fuentes de empleo y finalmente contribuyendo de manera directa al desarrollo del país.

El incremento del consumo energético y la eminente terminación del petróleo, nos lleva a buscar nuevas fuentes de energía renovable, por lo cual en nuestro proyecto de grado estamos apelando al biogás producido por desechos orgánicos como fuente de energía para un motor de combustión interna conectado a un generador de energía eléctrica.

**Alcance:**

En el país cada municipio en cada ciudad debe enfrentarse al problema de la basura, el municipio en la ciudad de Quito ha invertido millones de dólares en los botaderos de basura para tener sistemas de recolección de biogás, después de tanta inversión recolectan el gas y lo queman utilizando quemadores diseñados para este efecto, desperdiciando así un combustible de alto valor que pudo ser convertido en electricidad o usado en cualquier sistema de combustión a gas, alcanzando beneficios económicos y ambientales, en este proyecto de grado damos la debida importancia a la producción de biogás como energía limpia y renovable.

Los beneficios que trae consigo el presente estudio nos permite llegar a la teoría que los diversos municipios deberían interesarse por plantas de tratamiento anaeróbico para el

procesamiento de los desechos producidos en sus ciudades, aplacando uno de los grandes problemas medioambientales, los rellenos sanitarios; valor agregado a esto obtener beneficios económicos por la transformación de esta fuente de energía.

La idea central es transformar la basura orgánica en biogás útil para su utilización energética, es decir *transformar la basura en dinero*, lo cual nos permite tener un alcance de aplicación muy amplio, logrando usarse sistemas como el aquí propuesto en granjas de producción porcina y avícola, en zonas agrícolas para el tratamiento de los restos de cosechas, en rellenos sanitarios para el reciclaje de la basura orgánica, los mercados que son un foco de contaminación importante debido a la cantidad industrial de desechos que se producen diariamente, además se puede proyectar la construcción de la primera planta de biogás a partir de desechos orgánicos a nivel estatal y este gas aprovecharlo en sus diferentes aplicaciones prácticas posibles.

Ante la poca variedad para obtener energía eléctrica en el país el presente proyecto de grado representa en si una *SOLUCIÓN ENERGÉTICA* amigable con el ambiente.

Finalmente el alcance palpable de este proyecto es el tratamiento de 50 kg de estiércol de cerdo producidos diariamente en la granja donde se desarrolla el mismo, este tratamiento es anaeróbico, el biogás obtenido como producto de esta digestión se lo aplicará como combustible a una planta eléctrica.

Como consecuencia de este proyecto disminuirémos el grado de contaminación por estiércol en la granja y se generará aproximadamente 1 kwh de energía eléctrica y 150 lt de bioabono.

**Justificación:**

El presente proyecto tiene como finalidad reducir la contaminación ambiental producida por el estiércol de cerdo de la explotación comercial en la granja, además estudiar el biogás como un biocombustible en un motor de combustión interna para generación de energía eléctrica.

Se pretende dejar los principios básicos para el diseño y construcción de plantas de biogás destinadas a recuperar energía limpia de los desechos orgánicos en nuestro país.

**Resumen**

Este proyecto de grado apunta a la “GENERACIÓN DE GAS METANO A PARTIR DE DESECHOS ORGÁNICOS Y APLICACIÓN EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”, para alcanzar el éxito en este proyecto se usará los desechos orgánicos producidos por los cerdos de la granja comercial del Ing. Luis Molina, ubicada en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui, parroquia Pintag, calle Sincholahua S/N.

La explotación porcina en esta granja es de tipo intensivo y comercial, la granja no posee ningún tipo de tratamiento para descontaminación, actualmente los desechos se los descompone de forma aeróbica en un sector hecho para este fin, una vez semi descompuesto el estiércol se lo arroja a campo abierto para culminar la descomposición, la decisión del grado de descontaminación será exclusivamente por parte del propietario, una vez adquirido este dato se procederá a tomar la decisión del tipo de biodigestor a ser construido, luego se realizará los análisis de la biomasa e inmediatamente se realizará los diseños y la construcción.

### **Objetivo general del proyecto.**

Obtener metano a partir de desechos orgánicos para disminuir la contaminación ambiental y como fuente de energía alternativa renovable para uso como biocombustible en un motor de combustión interna para generar energía eléctrica

### **Objetivos específicos del proyecto.**

- Construir un biodigestor con capacidad de 10 m<sup>3</sup>, en hormigón armado, para el procesamiento del estiércol producido diariamente en la granja.
- Usar una planta eléctrica de aproximadamente 1 Kwh - 110 V, que tiene un motor de combustión interna de 2.8 Hp y potencia nominal de 0,8 Kw
- Adaptar el sistema de alimentación del motor de combustión interna de la planta eléctrica que inicialmente trabaja con gasolina como carburante para que use biogás para su funcionamiento normal.

### **Metas del proyecto.**

- Diseñar y construir una planta de biogás, con un biodigestor con capacidad de 10 m<sup>3</sup> y un gasómetro de 6 m<sup>3</sup> para acumulación del biogás
- Tratar 50kg diarios de estiércol de cerdo, para reducir la contaminación ambiental y procesarlos para obtener biogás.
- Aplicar el biogás en una planta eléctrica con motor de combustión interna para su prueba como biocombustible.

## **1.1 Biogás.**

El biogás es un gas combustible que se produce a partir de la biomasa. El método más común de producción de biogás es la digestión anaeróbica en un tanque cerrado llamado biodigestor. El biogás obtenido en esta transformación lo constituye una mezcla de gases combustibles y su composición depende del tipo de material orgánico utilizado para su producción y de las condiciones de operación de los reactores donde ocurre la transformación. Este gas es versátil, pudiendo ser usado como combustible para motores de combustión interna que a su vez pueden mover una bomba de agua, un motor eléctrico, también para la cocción de alimentos o para calentar ambientes.

El biogás contiene aproximadamente un 60 a 70 % de metano y un 30 a 40% de dióxido de carbono y un 0,5% H<sub>2</sub>S entre otros componentes.

### **1.1.1 Biogás como fuente de energía**

Diversos países investigan convertir el metano en el sustituto de los combustibles fósiles, evitando así su potente efecto en el cambio climático. Otros proponen este gas producido por los excrementos humanos y animales o los residuos urbanos para generar energía, e incluso se está probando como combustible para las naves espaciales del futuro.

Se busca la alternativa de un combustible renovable para disminuir la dependencia del petróleo por parte de los países industrializados, debido a su inminente terminación y a los precios que se elevan cada día, prácticamente el mundo ha entrado en una crisis energética y ambiental que nos están llevando a analizar varias alternativas las cuales mencionamos a continuación:

- a. *La energía solar* ha sido, entre otras, alguna de las alternativas más viables pero debido a su discontinuidad sus costos se han elevado exponencialmente, porque se debe almacenar para días nublados y días donde la radiación no sea tan fuerte, por otro lado este tipo de energía no se la puede obtener en todo el planeta si no que se

debe buscar lugares estratégicos como la zona ecuatorial, en países donde las cuatro estaciones se hacen presentes esta alternativa energética se torna complicada por su panorama de almacenamiento, los elevados costos de las células fotovoltaicas hace que esta tecnología no se masifique ya que está al alcance de los que tienen la capacidad económica para poseerla. En países que se acercan a los polos la aplicación de esta alternativa se torna completamente imposible.

- b. *La energía eólica* se obtiene por el viento, tiene algunas dificultades, se necesita de grandes extensiones de terreno que además posean las condiciones de velocidad y caudal para obtener energía substancial, se necesita de grandes formas de almacenamiento lo cual dificulta su masificación. En los andes se torna muy complicada su aplicación por la irregularidad del terreno.
- c. *La energía de los nevados*, es una tecnología relativamente nueva, se quiere aprovechar las bajas temperaturas de los nevados haciendo circular agua a través de tuberías para disminuir la temperatura y usarla para enfriar cuartos donde se amacena carne, pero a este tipo de energía tendría acceso solo ciudades que estén cerca de los nevados y con costos elevados por la construcción de las tuberías para circulación de agua.
- d. *La energía hidráulica* es la más utilizada para generación de energía eléctrica, la dependencia de este tipo de energía por parte de nuestro país nos ha causado pérdidas económicas considerables cuando los niveles del río Paute son bajos, además se debe realizar grandes daños al ecosistema cuando se construye una represa eliminando la vida por el estancamiento de las aguas, si bien es cierto ha sido una alternativa que se ha usado por siglos en la actualidad no se puede satisfacer las necesidades energéticas con esta alternativa.

- e. *Biogás o gas metano* es una de las alternativas más viables inmediatas que podemos encontrar ya que contamos con recursos prácticamente inagotables debido a que los desechos orgánicos se producirán mientras los seres vivientes habiten el planeta y su versatilidad lo hace apto para muchas aplicaciones, es una fuente de energía renovable de las más importantes en la actualidad y puede llegar a suministrar gran parte de la energía requerida en las industrias, transporte, residencias y comercio en general, a bajos costos y con beneficios ambientales muy importantes.

### **Aplicaciones:**

#### **a. Cocinas de biogás**

La adaptación de las cocinas para el consumo de biogás es muy sencilla y de bajo costo, siendo una alternativa atractiva para la masificación en nuestro país. El biogás empleado para cocción de alimentos no produce alteraciones en cuanto a olor y sabor de los alimentos terminados.

Una de las desventajas en esta aplicación es la rápida corrosión de las ollas debido al ácido sulfúrico que el biogás produce, pero esta adversidad puede ser contrarrestada con filtros metálicos o con filtros orgánicos que absorban este ácido. En la tabla I.3 se muestra que para una cocina se ocupa 120 lt/hora de biogás.

#### **b. En hornos, deshidratadores, secadores de granos**

Para estos casos solo se requiere que tengan sistemas de combustión a gas, existen gran cantidad de equipos fabricados para trabajar con biogás, sin embargo existe una ventaja al poder con pequeñas modificaciones adaptar casi la mayoría de equipos que trabajan con GLP u otros gases a biogás, lo cual amplía enormemente la gama de uso del biogás.

### **c. Calentadores térmicos:**

Los calentadores térmicos en granjas son una de las grandes aplicaciones del biogás, se hace atractiva en granjas avícolas y porcinas ya que ocupan gas industrial cuyo costo es elevado. Al usar el estiércol de los animales y usarlo en las propias granjas estamos valorizando el desecho y contribuimos directamente para evitar la contaminación de suelos, aguas subterráneas y la destrucción de la capa de ozono.

El biogás es una excelente opción ambiental y económica para las fincas con incubadoras de pollos, cerdos o que requieran el calentamiento de cualquier micro ambiente o ambiente específico, en cualquier lugar donde se desee aumentar y mantener la temperatura del ambiente. A los calentadores térmicos se les realiza una pequeña modificación en la aguja de regulación para que el rendimiento sea alto.

El m<sup>3</sup> de biogás puede reemplazar 0.46 kg de gas propano, 0,7 litros de gasolina, 2 kg de leña, lo que previene en gran medida la destrucción de los bosques. Se ha calculado que 1 m<sup>3</sup> de biogás utilizado para cocinar evita la deforestación de 0.335 ha de bosques con un promedio de 10 años de vida de los árboles

### **d. Calefones:**

En los hogares de nuestro país se usa el gas subsidiado por el estado para la implementación de calefones ya que es una alternativa más económica que la utilización de duchas eléctricas y últimamente se está prohibiendo el uso de calefones por causar daño económico al estado, al comprimir el biogás tenemos una alternativa aún más económica y viable legalmente para el calentamiento de agua a través de calefones. Como se muestra en la tabla I.2 podemos con un metro cúbico de biogás calentar 110 lt de agua

#### **e. Motores de combustión interna**

Los motores con ignición por chispa pueden funcionar solamente con biogás mientras que los motores diesel requieren algunas modificaciones para permitirles que funcionen principalmente con biogás suplementado con combustible Diesel.

Aun no se tiene un vehículo con motor de combustión interna que funcione con gas metano generado a partir de desechos orgánicos, en nuestro país no se ha investigado esta posibilidad por la falta de apoyo gubernamental y los altos costos que esta representa, siendo una hipótesis altamente factible para crear vehículos híbridos con biogás o a su vez vehículos que funcionen 100% con biogás.

#### **f. Equipos de cogeneración:**

Los equipos de cogeneración sirven para aprovechar la energía mecánica de un motor de combustión interna que produce movimiento rotacional y transformarlo en otro tipo de energías, en la generación de energía eléctrica se aprovecha el movimiento del cigüeñal del motor de combustión interna para mover un generador eléctrico, también se puede aprovechar este movimiento rotacional para accionar una bomba para succión de agua entre otras varias aplicaciones.

#### **g. Producción de hidrógeno:**

La producción de hidrógeno es tal vez uno de los aspectos más importantes a futuro del uso del biogás, pues ya existen los vehículos a hidrógeno, y una de las fuentes más amplias de producción de hidrógeno será el biogás, con un tratamiento previo del biogás para alcanzar altas concentraciones de metano.

#### **h. Otros usos**

Además de generar energía en la Tierra, el metano podría utilizarse incluso fuera del planeta, como combustible para las naves espaciales. Dos empresas que trabajan para la NASA, AlliantTechsystems y XCOR Aerospace, están probando un sistema de propulsión

con este gas, que presenta diversas ventajas frente al combustible de los cohetes actuales, el hidrógeno.

Se trata también de un gas apreciado como combustible y para producir diversos gases y sustancias de uso industrial, como el cloruro de hidrógeno, amoníaco, acetileno y formaldehído. Asimismo, es uno de los principales componentes de la atmósfera de algunos planetas del Sistema Solar, como Saturno, Urano y Neptuno.

**Tabla I.1 Usos del biogás vs. Otras energías alternativas**

<b>Usos</b>	<b>Solar</b>	<b>Eólico</b>	<b>Hidráulico</b>	<b>Biogás</b>
Generación de electricidad	X	X	X	X
Cocción de alimentos	X			X
Activación de bombas		X	X	X
Motores de combustión interna	X			X
Calefones (calentamiento de agua)	X			X

**Tabla I.2 Aplicaciones para un metro cúbico de biogás:**

<b>Equipo</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Tiempo de funcionamiento</b>
Enfriador	14 pie <sup>3</sup>	10 horas
Calefón	110 lit.	3 horas
Cocina	3 comidas para 4 personas	-
Calentador térmico	3000 cal.	3 horas
Generador eléctrico	6 Kw	-
Motor	1 hp	2 horas
Lámpara	-	12 horas

**Tabla I.3 Uso del biogás en litros por hora:**

<b>Usos</b>	<b>l/h</b>
Lámparas para alumbrado 60 w	120
Quemador de cocina	400
Soplete de gas	250
Motor de combustión interna	500
Heladera 100 L	100
Infrarrojo 200 w	30

### **1.1.2 Propiedades del biogás**

Las propiedades como poder calorífico, índice de Wobbe, velocidad de ignición, requerimientos de aire/gas para combustión, etc., todas esta dependen de la calidad de biogás obtenido, principalmente de la proporción de metano contenido y grado de purificación que se le haga, sin embargo anotamos a continuación unos valores promedio en un biogás no purificado:

**Tabla I.4 Propiedades del biogás**

Poder calorífico.	21.48 MJ/m <sup>3</sup>
Índice de Wobbe	19.50 MJ/m <sup>3</sup>
Requerimiento teórico de Aire/gas	5.71 m <sup>3</sup>
Velocidad de ignición	0.25 m/s

#### **a. Su poder calorífico**

El poder calorífico de un gas lo podemos definir como la cantidad de energía liberada por un combustible cuando se quema estequiométricamente y los productos de combustión salgan a igual condición de temperatura y presión a la que entran los reactivos, para el caso del GLP, Gas Natural o Biogás que nos concierne es necesario diferenciar entre poder

calorífico superior(**PCS**) y poder calorífico inferior (**PCI**), debido a la formación de agua en la combustión de estos, donde en uno se considera que el agua de los humos sale en estado líquido aprovechando su entalpía de vaporización, y en el otro en estado gaseoso respectivamente, el poder calorífico es indispensable para calcular la potencia térmica de cualquier equipo que funcione con gas; otras definiciones más simples lo definen como la cantidad de calor que puede entregar un gas en su combustión, o la capacidad de ceder calor de un combustible cuando está ardiendo, o la cantidad de calor que entrega un kilogramo o un metro cúbico de gas o combustible al oxidarse en forma completa, etc.

#### **b. Índice de wobbe**

Es la relación entre el poder calorífico del gas y la raíz cuadrada de la densidad relativa de éste, y se expresa comúnmente en Kwh/m<sup>3</sup> estándar o normal de gas. Para ello, generalmente se toma el poder calorífico superior, pero también puede ser calculado respecto al inferior, esta propiedad es indispensable cuando se requiere conocer la potencia que se utiliza en un sistema de combustión, también es un parámetro fundamental en la teoría de intercambiabilidad de gases, pues éstos deben tener el mismo valor para que se conserve la potencia en el sistema sin modificar su geometría, entonces debemos calcular el índice de Wobbe del biogás que producimos para saber si se puede intercambiar apropiadamente o saber que modificaciones se deben de efectuar en el sistema de combustión si son factibles.

#### **c. Temperatura de rocío**

La combustión de hidrocarburos (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) e hidrógeno produce vapor, el cual se encuentra como vapor en los productos de combustión. La temperatura a la cual se inicia la condensación del vapor de agua en los productos de combustión se denomina temperatura de rocío, esta resulta importante en el estudio de la recuperación de la entalpía de vaporización del agua en los productos de combustión resultantes al quemar un combustible específico.

#### d. Límites de inflamabilidad

(LII límite inferior de inflamabilidad, LIS límite superior de inflamabilidad). Corresponden a las proporciones de la mezcla combustible - oxidante en porcentaje por volumen de gas en la mezcla, para las cuales la reacción de combustión puede iniciarse y auto propagarse.

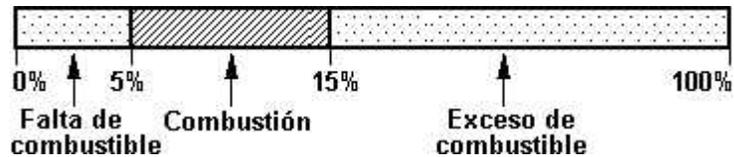


Figura 1.1 Límites de inflamabilidad.

TABLA I.5 Propiedades de combustión del metano

Peso molecular	16,042 kg/kmol
Volumen estequiométrico de aire	9,52 m <sup>3</sup> <sub>aire</sub> /m <sup>3</sup> <sub>gas</sub>
Poder calorífico superior	10,49 kw.h/m <sup>3</sup>
Poder calorífico inferior	9,43 kw.h/m <sup>3</sup>
Índice de woobbe superior	14,09 kw.h/m <sup>3</sup>
Índice de woobbe inferior	12,67 kw.h/m <sup>3</sup>
Temperatura de rocío	59,3 °C

**Tabla I.6 Propiedades según su composición química**

CO <sub>2</sub>	25 – 50 %	Bajo poder calorífico
		Causa corrosión
H <sub>2</sub> S	0 – 0,5 %	Corrosión de equipos
NH <sub>3</sub>	0 – 0,5%	Emisión de NO <sub>x</sub>
Vapor de agua	1 – 5 %	Corrosión de equipos
		Daños de equipos al condensar

**Tabla 1.7 Poder calorífico de varios combustibles comunes (MJ/kg)**

COMBUSTIBLE	FORMULA	PESO MOLECULAR	PODER CALORIFICO MAYOR (MJ/Kg)	PODER CALORIFICO MENOR (MJ/Kg)
Hidrógeno gas	H <sub>2</sub>	2	143.4	120.9
Metano	CH <sub>4</sub>	16	55.8	50.2
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44	50.6	46.5
Butano		58	49.5	45.6
Fuel Oil			44.0	41.8
Petróleo			44.0	41.8
Keroseno	CH <sub>2</sub>	14	43.0	39.8
Diesel			42.0	38.5
Carbono	C	12	28.0	28.0
Gas ciudad			32.0	

### 1.1.3 Composición química:

#### a. Estructura de Lewis

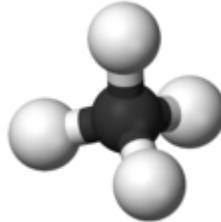


Figura 1.2 Estructura Lewis

b. **Formula química:** CH<sub>4</sub>

c. **Punto de fusión:** -182.5 °C(90.6 °K)

d. **Punto de ebullición:** -161.6 °C (111.5 °K)

e. **Temperatura de auto combustión:** 650 - 750 °C

f. **Límite explosivo:** 5- 15%

g. **Presión crítica:** 4.7 MPa.

h. **Densidad nominal:** 0.7 g/l

Tabla I.8 Composición química del biogás según las fuentes que se obtiene

	<b>Estiércol Animal</b>	<b>Lodos cloacales</b>	<b>Desechos industriales</b>	<b>Rellenos sanitarios</b>	<b>Propiedades</b>
Metano	50-80 %	50-80 %	50-70 %	45-65 %	Combustible
CO <sub>2</sub>	30-50 %	20-50 %	30-50 %	34-55 %	Acido, asfixiante
Hidrogeno	0 - 2 %	0 - 5 %	0 - 2 %	0 - 1 %	Combustible
H <sub>2</sub> S	100-7000ppm	0 - 1 %	0 - 8 %	0.5 - 100 ppm	Corrosivo, olor

Amoniaco	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Corrosivo
CO	0 - 1 %	0 - 1 %	0 - 1 %	Trazas	Tóxico
Nitrógeno	0 - 1 %	0 - 3 %	0 - 1 %	0 - 20 %	Inerte
Oxígeno	0 - 1 %	0 - 1 %	0 - 1 %	0 - 5 %	Corrosivo
Orgánico	Trazas	Trazas	Trazas	5 ppm	Corrosivos, olor
Vapor de agua	Saturación	Saturación	Saturación	Saturación	Saturación

El Biogás es susceptible de reaccionar con aire u oxígeno produciendo llama y gran cantidad de calor, el gas como combustible y el aire como comburente. La inflamación del gas depende de los límites de inflamabilidad, la temperatura de auto ignición y la mínima energía para su inflamación. Por ejemplo, una mezcla de gas y aire puede producir llama únicamente cuando la mezcla contiene una proporción de gas suficiente.

Para el biogás, el (L.I.I.) límite inferior de inflamabilidad (5%) es aquel hasta el cual la mezcla es pobre en combustible. Superado el (L.S.I.) límite superior de inflamabilidad (15%) la mezcla pasa a tener un exceso de combustible.

El metano es un ejemplo de compuesto molecular, cuyas unidades básicas son grupos de átomos unidos entre sí, como se muestra en la figura 1.2. La molécula de metano consta de un átomo de carbono con cuatro átomos de hidrógeno unidos a él. La forma general de la molécula es un tetraedro, una figura con cuatro caras triangulares idénticas, con un átomo de hidrógeno en cada vértice y el átomo de carbono en el centro.

### **Efectos del CO<sub>2</sub> en el biogás**

El CO<sub>2</sub> es un gas importante para la formación del metano motivo por el cual no es factible eliminarlo totalmente, en nuestro proyecto no es importante la remoción de CO<sub>2</sub>, pero en plantas de biogás industriales para aprovechamiento energético es importante la remoción de este compuesto para tener un biogás puro con alta eficiencia energética, que implica costos económicos favorables. El CO<sub>2</sub> es abundante en la fase líquida lo cual es favorable por que disminuye drásticamente en la fase gaseosa, es decir que al final del tiempo de retención aumenta la producción de biogás mientras el CO<sub>2</sub> anula la fase de hidrolisis.

### **Ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) en el biogás**

El ácido sulfhídrico es un agente corrosivo altamente dañino en los sistemas de digestión por tal motivo se busca mantener bajos estos niveles ya que causan daños irreversibles en aguas inferiores. El ácido sulfhídrico contenido en el biogás es nocivo para equipos de generación eléctrica por su alto poder corrosivo, equipos mecánicos y cañerías metálicas sufren oxidación por lo tanto se torna indispensable su disminución, para este fin se usa filtros de cal viva o limaduras de hierro, estas últimas se oxidan al contacto con este gas, obteniendo un nivel de purificación aceptable, claro está que existen procesos más técnicos y efectivos.

Por otra parte este ácido tiene olor a huevo podrido, que es de propiedad asfixiante, en lugares cerrados la concentración de este ácido y aspiración del ser humano puede causar la muerte en contados minutos; inmediatamente ingerido este ácido puede irritar las vías nasales, la garganta, los ojos y causa mareo en cuestión de segundos. Este gas es el que causa malos olores en los biodigestores.

#### **1.1.4 Descomposición anaeróbica**

La manera usada para transformar la biomasa en biogás es la digestión anaeróbica, que es un proceso natural que involucra varias fases bacterianas y enzimáticas simultáneamente.

El proceso de formación del metano no es propiamente una fermentación, aunque es siempre un proceso anaerobio estricto, y que se denomina, en términos genéricos, como respiración anaerobia.

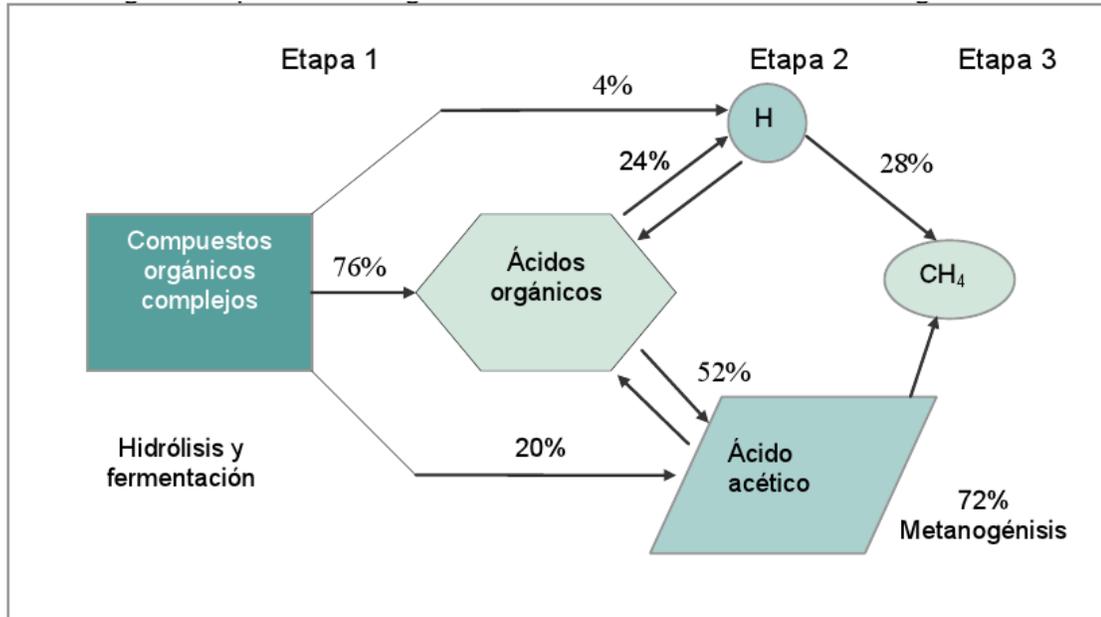
En los sistemas de producción de gas metano, a partir de diversos desechos orgánicos se pueden presentar varias fermentaciones, puesto que la diversidad microbiana así lo permite. Por otro lado, se sabe que las metano bacterias son anaerobias estrictas que se desarrollan a pH neutros (siendo muy sensibles a los cambios de éste) y que crecen dentro de un amplio rango de temperatura.

Esto es importante, cuando la producción de biogás es dependiente de la fermentación, ésta tiene que estar en funcionamiento continuo, de otra forma, la biosíntesis de gas metano tendería a anularse.

El biogás se produce de forma anaeróbica, en un proceso natural microbiano que se genera en ausencia de oxígeno. La digestión anaerobia consiste en la transformación de la materia orgánica, contenida en el lodo, en una mezcla de gases y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Este gas puede ser recogido y utilizado como combustible. De esta forma, la digestión anaerobia, como método de tratamiento de residuos, permite reducir la cantidad de materia orgánica contaminante y, al mismo tiempo, producir energía. El que uno de estos dos objetivos predomine sobre el otro depende de las necesidades de descontaminación del medio y/o de la naturaleza y origen del residuo.

El proceso al igual que el compostaje se desarrolla por acción enzimática de los microorganismos que estabilizan la porción fermentable de los residuos a través de las diferentes etapas.



**Figura 1.3 Etapas de descomposición anaerobia**

Fuente (Moncayo pg. 53)

La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo desde el punto de vista microbiológico, debemos entender que un biodigestor es un organismo vivo, con bacterias tan sensibles en su interior que pueden reaccionar negativamente ante cualquier variación del proceso como errores en la carga de la biomasa, choque térmico, variación en el pH.

Estas fases son:

**a. Fase hidrolítica.**

En la cual las bacterias descomponen los complejos orgánicos de los carbohidratos, lípidos y proteínas a compuesto más sencillos como azúcares. Para la hidrólisis y licuefacción del material orgánico complejo y/o insoluble, las bacterias fermentativas producen y excretan enzimas hidrolíticas. Este eslabón del proceso es esencial y puede limitar la fermentación

de metano, por ello se considera muy importante proveer una población grande de microorganismos, un sustrato orgánico concentrado y mezcla y temperatura uniforme dentro del reactor.

**b. Fase ácida.**

Durante esta fase el pH en el digestor baja a valores menores a 5. En la fermentación ácida, los compuestos orgánicos de estructura compleja, proteínas, grasas, carbohidratos, son primero hidrolizados en unidades moleculares más pequeñas y sometidos a biooxidación para convertirlos en ácidos orgánicos de cadena corta, principalmente ácido acético, propiónico y butírico; alcoholes, hidrógeno y CO<sub>2</sub>.

**c. Fase metanogénica.**

Las bacterias anaerobias actúan sobre el sustrato de la fase anterior formando metano y gas carbónico, mediante la reducción del metanol y ácido acético. En la fermentación metanogénica, los microorganismos metanogénicos, en condiciones estrictamente anaerobias, convierten los productos de la fermentación ácida en CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, principalmente.

Las bacterias metanogénicas son organismos claves en el digestor, su desarrollo es muy lento y son extraordinariamente sensibles a las variaciones que se producen en el medio que las alberga. Está totalmente comprobado que la digestión de los lodos se realiza a cualquier temperatura; sin embargo, el tiempo que se tarda en completar la digestión es variable y está en relación con ella. En este sentido, existen dos grandes clases de bacterias metanogénicas, cuyas temperaturas de desarrollo son muy diferentes: las bacterias mesófilas, cuya temperatura óptima está entre 33° y 45° C y las termófilas, en las que la temperatura se encuentra entre 50° y 60° C. La digestión mesofílica es la más empleada hoy en día.

El efluente sufre un proceso de calentamiento hasta elevar su temperatura por encima de los 35° C, de modo que el digestor pueda mantenerse a la temperatura media de proceso de 35° C, estimada como idónea para el desarrollo de las bacterias mesófilas. El biogás producido en el digestor de contacto es conducido a un gasómetro de almacenamiento previo, que elimina la humedad.

Prácticamente, la descomposición anaerobia es posible con todos los compuestos orgánicos que contienen oxígeno en sus moléculas.

En el tratamiento anaerobio se puede, por lo tanto, considerar que ocurren los procesos básicos de la descomposición anaerobia, es decir: desnitrificación, reducción de sulfatos, hidrólisis y fermentación acetogénica y metanogénica. El proceso microbial es muy complejo y está integrado por múltiples reacciones paralelas y en serie, interdependientes entre sí.

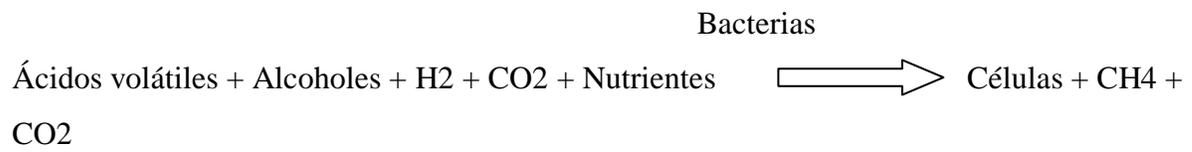
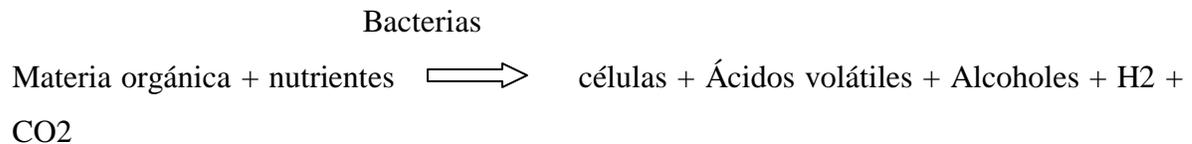
En la fermentación metanogénica, los microorganismos metanogénicos, en condiciones estrictamente anaerobias, convierten los productos de la fermentación ácida en CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, principalmente.

Durante esta etapa fermentativa no existe realmente estabilización, sino una transformación de material orgánico complejo en compuestos más simples. La población bacteriana formadora de ácidos puede ser facultativa anaerobia, viable en presencia de oxígeno; o anaerobia obligada, para lo cual el oxígeno es tóxico; o una combinación de las dos. Para que la producción de ácidos sea continua, el hidrógeno debe ser removido pues es inhibitorio de las bacterias formadoras de ácidos.

La bacteria del metano es estrictamente anaerobia y se cree que sólo puede usar ácido acético, fórmico, metanol o hidrógeno como fuente de energía.

La producción de crecimiento biológico es mínima puesto que el oxígeno de los compuestos orgánicos, o sustrato, es removido y reemplazado por hidrógeno; el residuo es reducido y la mayoría de la energía liberada en el catabolismo anaerobio permanece en el metano y no es utilizada en síntesis celular. Aproximadamente un 72% del metano formado proviene de la descomposición del acetato por las bacterias acetilclásticas, un 13% del ácido propiónico y un 15% de otros productos intermedios

Las ecuaciones verbales que resumen el proceso anaerobio, incluyendo crecimiento, serían:



Las condiciones óptimas para un proceso anaerobio eficiente son:

- Nutrientes suficientes.
- pH entre 6.5 y 7.6
- Temperatura en el intervalo mesofílico de 30 – 38° C o en el intervalo termofílico de 50-60 °C
- Ausencia de oxígeno
- Ausencia de sustancias tóxicas.

#### **Ventajas del proceso anaeróbico:**

- El tiempo de retención nos permite tener una mezcla más homogénea.
- El estiércol digerido anaeróbicamente no presenta un olor desagradable y es un producto más estable, ya que se eliminan los ácidos grasos volátiles (AGV), esto elimina la foto toxicidad a los cultivos por estos compuestos.
- Reducción de la materia orgánica degradable y manteniendo las concentraciones de nutrientes, lo cual permite tener la misma riqueza de nutrientes.

- La fracción sólida del estiércol digerido se vuelve pastosa lo cual facilita su manipulación y manejo.
- Balance energético positivo y productor neto de energía renovable, permite el tratamiento de mezclas con otros residuos para optimizar la producción energética

### **1.1.5 Beneficios del biogás.**

#### **a. Beneficios ambientales:**

Al producir metano derivado del tratamiento de los desechos orgánicos, eliminamos un problema de contaminación ambiental, el estiércol del ganado vacuno y porcino al descomponerse en los campos produce metano que contamina 21 veces más que el CO<sub>2</sub> la capa de ozono, estos estiércoles al ser tirados al ambiente se descomponen de forma aeróbica produciendo grandes cantidades de CO<sub>2</sub> que juntamente con el metano son considerados gases de efecto invernadero, siendo estas materias primas esenciales en la producción de nuestro combustible. El metano al ser quemado en motores, o equipos diseñados para este efecto se transforma en CO<sub>2</sub>, disminuyendo así su poder contaminante

Los desechos orgánicos, como la basura producida en los hogares, las aguas fecales o los excrementos que se generan en granjas de explotación agrícola, son un problema real para el suelo y las aguas subterráneas de nuestro planeta, para la capa de ozono y para la salud del ser humano, transformándose en un problema que hay que controlar. Una de las alternativas planteadas es transformar este problema en una forma de generar un combustible renovable.

El biogás se puede generar de forma natural conocido como gas natural, este biogás es producido por el mismo proceso a partir de residuos orgánicos que quedaron enterrados, también se lo produce forma artificial, en reactores elaborados para disminuir la contaminación y producir energía. Para entender el verdadero alcance de sus ventajas es

importante asimilar esa doble vertiente que posee el biogás como productor de energía y como eliminador de la contaminación y los residuos.

Los países pueden reducir la cuota de contaminación a través de la implementación del biogás como fuente de energía, lo cual le permite acceder a posibles créditos de carbono, es decir qué valor agregado a mejorar la vida de todos los seres humanos que se ven afectados por pocos países desarrollados, estimula a estos países industrializados a reducir la contaminación del planeta.

Debido a que el metano es un gas de efecto invernadero potente y tiene una vida atmosférica corta, su reducción puede producir importantes resultados a corto plazo.

Otro de los beneficios ambientales que se obtiene con la utilización de biogás es evitar la tala indiscriminada de árboles, esta práctica es común en poblaciones rurales donde es difícil la utilización de combustibles fósiles motivo por el cual las personas usan la madera como fuente de energía para cocción de alimentos, al suprimir el uso de la madera como combustible nos permite tener mayor cantidad de árboles que combaten a los gases de efecto invernadero y además disminuimos emisiones de CO<sub>2</sub>

Además de la reducción de la contaminación, el beneficio es que ayudamos a evitar la lluvia acida, evitamos la erosión del suelo y la contaminación de aguas subterráneas.

Reducir olores, los sistemas de biogás reducen los olores ofensivos especialmente en aquellas zonas en que se producen y manejan grandes cantidades de estiércol debido a la

explotación de ganado o en zonas de botaderos de basura. Un ejemplo es el vertedero de Zambiza cuya población se levantó por la cantidad de olores tóxicos que genera.

Fertilizante de alta calidad. En el proceso de digestión anaerobia, el nitrógeno orgánico en el estiércol se convierte en gran proporción a amoníaco, el constituyente básico de fertilizante comercial, que es fácilmente disponible y utilizado por las plantas, en medio del auge de los productos orgánicos se ha buscado alternativas que reemplacen a los fertilizantes químicos para mejorar la salud de las personas, se ha comprobado que este abono orgánico es de muy alta calidad y fácilmente puede reemplazar o conjugarse con los abonos químicos.

La utilización de biol como abono orgánico nos da como resultado un incremento del 30% en la producción de los productos agrícolas donde se ha aplicado, siendo económicamente una ventaja importante versus otros competidores que usan abonos químicos con producción más baja y degradación de sus tierras de forma acelerada

#### **b. Beneficios energéticos:**

Las estimaciones científicas en cuanto a combustibles fósiles son que estaremos provistos de estos durante los próximos cincuenta a sesenta años, por lo tanto se busca alternativas renovables para el reemplazo de estos combustibles, en el biogás encontramos algunas ventajas energéticas.

Un metro cubico de biogás es equivalente a 0.7 litros de combustible fósil, además el octanaje del biogás oscila entre 100 y 110 octanos, lo cual lo convierte en un combustible con características viables para su uso en motores de combustión interna, transformándose en una alternativa para la industria automotriz que invierte cientos de millones de dólares para encontrar un combustible inagotable y amigable con el ambiente, además esta energía calorífica se la puede emplear en un cogenerador, que usa gasolina o diesel, para producir energía eléctrica.

El biogás es más eficiente que los combustibles refinados diesel, GLP y gasolina por su combustión completa y limpia.

El metano, su principal componente, es mucho menos tóxico y corrosivo que las gasolinas, el diesel y el GLP. El biogás es una fuente de energía primaria, cuyas reservas mundiales aumentan, mientras las del petróleo y carbón disminuyen aceleradamente.

**d. Beneficios económicos:**

El concepto más relevante dentro de estos beneficios es la transformación de la basura en dinero, lo cual lo convierte en una oportunidad de negocio.

La contribución económica al estado por uso de biogás es otro beneficio, en nuestro país el gas de uso doméstico es subsidiado por el estado, al tener un bajo costo es usado por granjas de producción porcina y avícola lo cual violenta la ley porque perjudica la economía nacional.

En granjas donde acatan la ley usando gas industrial se afecta la utilidad final, el gas industrial tiene un costo de 17 dólares el cilindro de 15 kg. El cual dependiendo del caudal de uso se termina en 10 horas o menos.

Los precios para obtención de biogás son relativamente bajos, al utilizar desechos orgánicos y restos de cosechas estamos aprovechando materia prima que es inagotable y prácticamente desperdicios inútiles. De esta manera estamos generando un combustible alternativo renovable, ya que los desechos orgánicos se producirán continuamente y obtenemos una fuente de energía económica que permita disminuir los costos asociados al consumo de combustibles fósiles.

## 1.2 Biomasa

“El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego.

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía; transformándola, por ejemplo, en combustibles líquidos o gaseosos, los cuáles son más convenientes y eficientes.” (Moncayo, “Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás”, 2008, pág. 116)

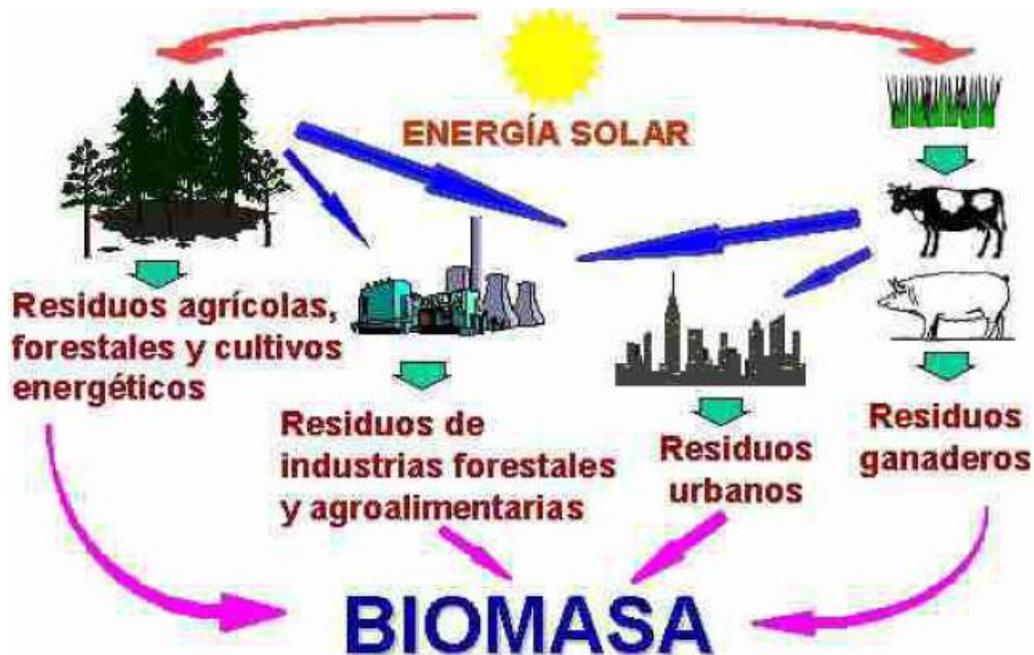


Figura 1.4 Biomasa

La producción de biogás la determina el contenido de proteínas, hidratos de carbono y grasas que forman la biomasa “La mayor cantidad de biogás se obtiene de las grasas, pero el mayor porcentaje de gas metano se obtiene de las proteínas (71 %)” (Perry L. McCarty, “Chemistryforenvironmentalengineering and science”, 2003, pág. 198). La menor producción de metano se obtiene de los hidratos de carbono. Por estas razones es muy importante lograr una mezcla de sustrato equilibrada en donde se produzca la mayor cantidad de biogás, pero también el mayor contenido porcentual de gas metano.

Las fuentes más importantes de biomasa son los campos forestales y agrícolas pues en ellos se producen residuos que normalmente son dejados en el campo al consumirse sólo un bajo porcentaje de ellos con fines energéticos. En la agroindustria, los procesos de secado de granos generan subproductos que son usados para generación de calor en sistemas de combustión directa; tal es el caso del bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de café y la de arroz. Por otro lado, los centros urbanos generan grandes cantidades de basura compuestas en gran parte, por materia orgánica que puede ser convertida en energía, después de procesarla adecuadamente.

El gas metano, fue conocido en sus inicios como “*gas de los pantanos*” debido a que fue descubierto por vez primera en los pantanos por la degradación de las plantas que aquí morían, en la actualidad se lo conoce como biogás término que se aplica a la mezcla de gases que se obtienen a partir de la descomposición en un ambiente anaerobio (sin oxígeno) de los residuos orgánicos, como el estiércol animal o los productos de desecho de los vegetales. También se produce en el sistema digestivo de rumiantes y otros animales.

El metano se produce por fuentes naturales, por ejemplo, los depósitos orgánicos del fondo oceánico. La agricultura es una de las fuentes más importantes de metano. Según algunos estudios el incremento térmico causado por la agricultura, en particular debido a las deforestaciones para cultivo y los regadíos puede ser igual o superior al causado por la industria. Todos los años millones de toneladas de CH<sub>4</sub> son producidas por microbios que

viven en condiciones anaeróbicas degradando la materia orgánica de cultivos inundados. Uno de los más claros ejemplos de esta producción de metano son los cultivos de arroz.

La ganadería es la actividad más importante en la generación de metano, debido a que los rumiantes en el proceso de sus digestiones y en sus heces emiten grandes cantidades de metano pudiendo así convertir los residuos animales en biocombustibles.

El estiércol del ganado se usa para el proceso de cogeneración, las heces se someten a la acción de bacterias que transforman una gran parte de los residuos en metano y así se proporciona combustible para calderas que pueden generar calor para generadores eléctricos. Igualmente el estiércol se ha comenzado a utilizar para la producción de etanol.

Por otra parte la minería de carbón, al momento de las explosiones subterráneas en las minas, desprenden una gran cantidad de gas de metano, una de las nuevas metodologías para reducir la emisión de este gas a la atmósfera procedente de las explosiones es perforando pozos para dar salida al gas hacia la superficie en donde se transporta por gasoductos o se utiliza en diversas aplicaciones industriales. Se encuentra en forma de gas natural en pozos adyacentes a pozos petroleros

Los vertederos son otra fuente de generación de metano, los desperdicios que se generan en las ciudades tienen como fin los vertederos, en donde se desprende el metano conforme la materia orgánica o biomasa se va descomponiendo. Para poder reducir las emisiones de gas de metano, los vertederos deben incorporar tecnologías para recuperar este gas metano y utilizarlo para generar electricidad y calor. Una tonelada de basura orgánica produce 40 metros cúbicos de biogás y el mundo produce 5 millones de toneladas de basura al día. Las basuras del mundo producen biogás en cantidad de 44.000 millones de metros cúbicos al año; es el aporte de todos los seres humanos al cambio climático. De acuerdo con estudios, la producción de basura en el mundo es mayor, por año, por peso y por volumen.

En nuestro país las ciudades de Quito y Loja tienen sistemas de recolección de biogás, pero este gas es quemado y no se aprovecha su poder combustible para generar otro tipo de energías, al querer aprovechar los vertederos de basura para obtención del metano como biocombustible, se empezaría por crear una cultura de clasificación de los desechos lo cual es una gran contribución para disminuir la contaminación de los vertederos de basura.

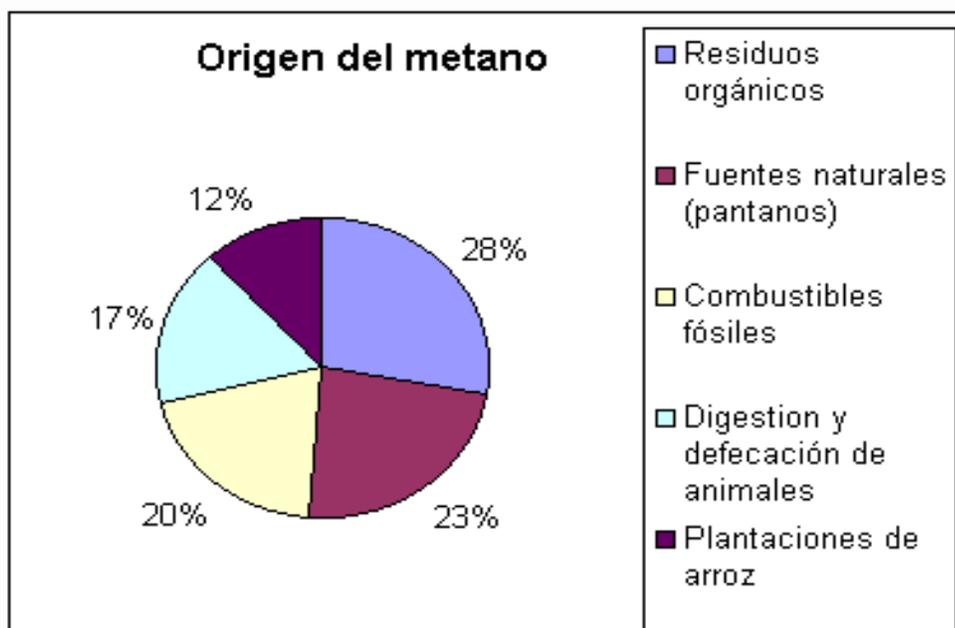


Figura 1.5 Origen del metano.

### 1.2.1 Tipos de biomasa

Los recursos biomásicos incluyen cualquier fuente de materia orgánica, como desechos agrícolas y forestales, plantas acuáticas, desechos animales y basura urbana. Su disponibilidad varía de región a región, de acuerdo con el clima, el tipo de suelo, la geografía, la densidad de la población, las actividades productivas, etc.; por eso, los correspondientes aspectos de infraestructura, manejo y recolección del material deben adaptarse a las condiciones específicas del proceso en el que se deseen explotar.

**a. Plantaciones energéticas:**

Estas son grandes plantaciones de árboles o plantas cultivadas con el fin específico de producir energía. Para ello se seleccionan árboles o plantas de crecimiento rápido y bajo mantenimiento, las cuales usualmente se cultivan en tierras de bajo valor productivo. Su período de cosecha varía entre los tres y los diez años. También se utilizan arbustos que pueden ser podados varias veces durante su crecimiento, para extender la capacidad de cosecha de la plantación.

Existen también muchos cultivos agrícolas que pueden ser utilizados para la generación de energía: caña de azúcar, maíz, sorgo y trigo. Igualmente, se pueden usar plantas oleaginosas como palma de aceite, girasol o soya y algunas plantas acuáticas como Jacinto de agua o las algas, para producir combustibles líquidos como el etanol y el biodiesel.

Adicionalmente, este tipo de cultivos sirve para controlar la erosión y la degradación de los suelos; además puede proveer otros beneficios a los agricultores. Una granja típica, usualmente, sólo genera uno o dos productos de mayor valor comercial como maíz, café, leche o carne. El ingreso neto de ello es, a menudo, vulnerable a las fluctuaciones del mercado, al aumento del costo en los insumos, a las variaciones climáticas y a otros factores. Dado que las plantas de generación de energía requieren un suministro estable de biomasa, los cultivos asociados a ellas pueden proveer un ingreso permanente a los granjeros que decidan diversificar su producción.

La principal limitante para este tipo de plantaciones está en la escala, pues se requieren grandes extensiones de tierra para lograr una producción de energía rentable. Por esta razón, son factibles cuando se desarrollan con algún tipo de producción agrícola paralela, como por ejemplo, el maíz, la caña de azúcar y la palma de aceite.

### **b. Residuos forestales**

Los residuos de procesos forestales son una importante fuente de biomasa que actualmente es poco explotada en nuestro país. Se considera que, de cada árbol extraído para la producción maderera, sólo se aprovecha comercialmente un porcentaje cercano al 20%. Se estima que un 40% es dejado en el campo, en las ramas y raíces, a pesar de que el potencial energético es mucho mayor y otro 40% en el proceso de aserrío, en forma de astillas, corteza y aserrín.

La mayoría de los desechos de aserrío son aprovechados para generación de calor, en sistemas de combustión directa; en algunas industrias se utilizan para la generación de vapor. Los desechos de campo, en algunos casos, son usados como fuente de energía por comunidades aledañas, pero la mayor parte no es aprovechada por el alto costo del transporte.

### **c. Desechos agrícolas**

La agricultura genera cantidades considerables de desechos, se estima que, en cuanto a desechos de campo, el porcentaje es más del 60%, y en desechos de proceso, entre 20% y 40%.

Al igual que en la industria forestal, muchos residuos de la agroindustria son dejados en el campo. Aunque es necesario reciclar un porcentaje de la biomasa para proteger el suelo de la erosión y mantener el nivel de nutrientes orgánicos, una cantidad importante puede ser recolectada para la producción de energía. Ejemplos comunes de este tipo de residuos son el arroz, el café y la caña de azúcar. Los campos agrícolas también son una fuente importante de leña para uso doméstico: más del 50% del volumen total consumido.

### **d. Desechos urbanos**

Los centros urbanos generan una gran cantidad de biomasa en muchas formas, por ejemplo: residuos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas negras. La mayoría de los países de

Sudamérica carecen de adecuados sistemas para su procesamiento, lo cual genera grandes problemas de contaminación de suelos y cuencas; sobre todo por la inadecuada disposición de la basura y por sistemas de recolección y tratamiento con costos elevados de operación. Por otro lado, la basura orgánica en descomposición produce compuestos volátiles (metano, dióxido de carbono, entre otros) que contribuyen a aumentar el efecto invernadero. Estos compuestos tienen un considerable valor energético que puede ser utilizado para la generación de energía “limpia”.

En el corto y mediano plazo, la planificación urbana deberá incluir sistemas de tratamiento de desechos que disminuyan eficazmente las emanaciones nocivas de los desechos al ambiente, dándoles un valor de retorno por medio del aprovechamiento de su contenido energético, pues aproximadamente el 80% de toda la basura orgánica urbana puede ser convertida en energía.

**e. Estiércoles de animales.**

Las granjas de explotación avícola y ganado porcino y vacuno, son grandes centro de biomasa por lo general los desechos de estos animales son lanzados a la extensiones de terreno como abono orgánico, pero esta práctica produce la contaminación del ambiente al liberar CO<sub>2</sub> uno de los principales gases de efecto invernadero.

Este tipo de biomasa se convierte en un problema agudo para los explotadores de ganado por la emanación de olores y la falta de técnicas adecuadas para el tratamiento de estos desechos.

Quizás el primer interrogante a resolver al proyectar una instalación de generación de biogás es determinar si se cuenta con biomasa en la cantidad y frecuencia suficiente que provea la carga orgánica necesaria para mantener de manera continua la operación del biodigestor.

Una vez establecida la disponibilidad de biomasa esta debe ser colectada en alguna parte del sistema de generación de biogás, con el propósito de adecuarla (diluirla o concentrarla, adicionarle nutrientes) o simplemente conducirla al biodigestor.

El sistema de colección está predeterminado por un inventario de la cantidad de desechos orgánicos a emplear, características de los mismos (biodegradabilidad), estado físico en que se manejan (líquido o sólido), frecuencia de recolección de la biomasa, transporte al biodigestor, de la calidad de esta información básica depende el éxito del sistema.

Al emplear como flujo principal de biomasa en el sistema de generación de biogás el estiércol de animales debe tenerse en cuenta que el contenido de sólidos limitan su uso y manejo.

### **1.2.2 Calidad de la biomasa**

Esto es de gran importancia, pues dependiendo de la materia orgánica tratada en el sistema anaeróbico, serán más eficientes los procesos de degradación, una de las razones más importantes por la cual sucede esto, es que muchos materiales orgánicos como los estiércoles de cerdo, vacunos, etc., cuentan ya con una buena cantidad y calidad de microorganismos requeridos para la degradación anaeróbica, otros aportan energía, etc., por eso, un Biodigestor común produce más gas si se alimenta con estiércol de cerdo que si se alimentara con solo residuos de un cultivo o materiales orgánicos que no cuentan con esos microorganismos. Muchos elementos y factores adicionales pueden aportar ciertas materias orgánicas benéficas para la producción de biogás

### **1.2.3 Tratamiento de la biomasa**

El tratamiento previo de la biomasa tiene gran influencia en el funcionamiento interno del biodigestor, este proceso ayuda a que las bacterias que actúan en el proceso anaeróbico degraden más cantidad de biomasa y como consecuencia se produzca mayor cantidad de biogás y de mejor calidad.

### **a. Clasificación**

La clasificación de la biomasa consiste en la separación del material inorgánico o inerte, también la extracción de todo material que pueda inhibir el proceso metanogénico. En los estiércoles se suele tener restos de piedras, palos este tipo de material forma los lodos dentro del biodigestor disminuyendo la capacidad volumétrica del mismo. Dentro de la clasificación entra el uso de estiércol fresco, ya que el estiércol guardado se encuentra en estado de putrefacción, al usar estiércol en esas condiciones estamos inoculando virus y bacterias que inhiben el proceso causando disminución considerable de la producción de biogás. Un claro ejemplo de clasificación de la biomasa es cuando se quisiera implantar un biodigestor para el tratamiento de los desechos en los rellenos sanitarios.

### **b. Higienización**

Este proceso consiste en la purificación de la materia orgánica sometiéndola a altas temperaturas, entre 70 a 90<sup>0</sup>C (Moncayo 2010), para eliminar bacterias y virus que pueden alterar el comportamiento de las bacterias productoras de metano.

Cuando se usa la tecnología de biodigestores para producción de abono orgánico o biol es necesario aplicar este proceso a la biomasa para evitar la transmisión de enfermedades a los seres humanos. También se puede usar este proceso cuando nuestra biomasa está conformada de desechos de los hogares, desechos de mercados, residuos de camales.

### **c. Mezcla y homogenización**

Uno de los tipos de mezcla es la que se realiza entre biomاسas, por ejemplo residuos agrícolas con estiércol de animales, se debe tomar en cuenta que este tipo de mezcla debe dar como resultado una buena relación carbono-nitrógeno.

La siguiente mezcla es la que se realiza con agua para disolver los sólidos hasta su porcentaje adecuado. A esto se llama porcentaje de dilución cuyo valor óptimo es ente el 10 y 15 % de masa seca, los porcentajes mayores de masa seca en el biodigestor pueden

empachar las bacterias e inhibir el proceso. La dilución se la realiza con agua o biol, al usar el segundo elemento favorecemos el proceso ya que volvemos a introducir bacterias del proceso metanogénico.

La homogenización consiste en darle un tamaño regular a las partículas de biomasa que ha de ser alimentadas al biodigestor, esto ayuda a la degradación rápida de la materia volátil.

En el caso de usar restos de cosechas agrícolas o desechos de mercados es importante trocear la materia, no se debe alimentar al digestor con frutas o verduras enteras, el trocear este tipo de biomasa ayuda para que la superficie de contacto entre bacterias y biomasa sea mayor, para acelerar la alimentación y consiguiente producción de biogás.

#### **1.2.4 Características de la biomasa**

##### **a. Masa Seca (MS)**

La masa seca es la cantidad de sólidos que contiene la biomasa, básicamente es la consistencia de la biomasa, el porcentaje de masa seca se obtiene sometiendo una cantidad de biomasa, previamente pesada, a 110 °C, después de este proceso toda la humedad desaparece, se vuelve a pesar la materia restante y se obtiene este porcentaje.

Al determinar el porcentaje de masa seca también determinamos el porcentaje de humedad, dato que nos ayuda para diluir la biomasa a su parámetro apropiado de alimentación al biodigestor.

##### **b. Masa volátil (MV)**

Es el porcentaje de masa orgánica que contiene la biomasa, específicamente es la cantidad de materia que se degrada y se transforma en biogás, el resto de masa no se transforma en biogás ya que es agua y cenizas. Al someter la masa seca a 500 °C por cinco horas incineramos la materia, nos quedara como sobrante lo que llamamos cenizas; las cenizas son la materia inorgánica que posteriormente se convertirá en lodos que no son digeridos por las bacterias; la diferencia entre masa seca y cenizas se denomina porcentaje de masa volátil

#### **d. Carga orgánica volumétrica (COV)**

La carga orgánica volumétrica es la cantidad de materia orgánica seca que se carga al biodigestor diariamente, en kilogramos por metro cubico del biodigestor, transformándose en una constante en el manejo de esta tecnología, una COV muy baja hace que las bacterias no tengan suficiente alimento y baje la producción de biogás, una COV muy alta hace que la mezcla sea muy espesa y dificulte la movilidad de las bacterias, baje la efectividad del proceso y el exceso de biomasa no sea consumida con esta dificultad del proceso la producción del biogás disminuye, un valor sugerido para el óptimo funcionamiento es de 2 a 3 kgCOV/m<sup>3</sup>. Este parámetro es importante porque nos ayuda al dimensionamiento del reactor.

### **1.3 Biodigestor**

Un Biodigestor también conocido como planta de tratamiento anaeróbico, es un compartimiento hermético en el cual se fermenta la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Este sistema optimiza naturalmente el crecimiento y proliferación de un grupo de bacterias anaerobias que descomponen y tratan los residuos dejando, después de las reacciones químicas específicas, como subproducto gas combustible y un efluente líquido que es un biofertilizante.

Los biodigestores por sus características constructivas y por su bajo costo son una alternativa para integrar las excretas y otros residuos orgánicos a los sistemas de producción de biogás, ya que normalmente éstos se pierden, se mal utilizan o se convierten en contaminantes del medio ambiente y, por consiguiente, en un peligro para la salud de las plantas, animales y del mismo hombre. En el siglo 21 la utilización de biodigestores en países desarrollados es un factor común, los países europeos han apostado a los biodigestores y el aprovechamiento de desechos y cultivos energéticos para producción de biogás, en Alemania se posee una ley que incentiva a los agricultores para la construcción de biodigestores a través de bonos y rebajas en los impuestos, pero en los países en vías de desarrollo se le ha dado poca o ninguna importancia a este tipo de tecnología.

- Reduce la contaminación del suelo un 100%, por lo general el estiércol producido por animales es lanzado en grandes extensiones de terreno y este al descomponerse en presencia de oxígeno produce cantidades industriales de CO<sub>2</sub> y metano altamente contaminante.
- Elimina la contaminación de aguas subterránea y ríos, por la falta de técnicas para el tratamiento de desechos orgánicos en granjas de producción intensiva los desechos son enviados por el alcantarillado público o a su vez en ríos cercanos.
- Reduce olores a cero, la gente que vive cerca de granjas porcinas presenta inconformidad ante las autoridades, por los olores emanados, que pueden tomar incluso la decisión de reubicación con inversiones extremadamente grandes.
- Los residuos de la producción porcina no necesitan tratamiento antes de su inclusión en el Biodigestor.
- Obtención de energía (biogás). Puede ser empleada en la cocción de alimentos, calefacción de cerdos pequeños o reemplazo de combustible en el funcionamiento de motores.
- Se mantiene el valor fertilizante del estiércol. La mitad o más del nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco (NH<sub>3</sub>-N). Una pequeña cantidad de fósforo (P) y potasio (K) se sedimenta como lodo en la mayoría de los digestores, este abono nos permite viabilizar la producción orgánica de alimentos
- Su manejo es sencillo y no requiere mantenimiento sofisticado.
- El estiércol digerido es más fácil de almacenar y de bombear.

- El área necesaria para el procesamiento de la excreta es menor si se compara con los sistemas de tratamiento aeróbicos.
- Para algunos materiales, el costo es relativamente bajo y se puede recuperar la inversión gracias a que se economiza en la compra de otras fuentes de energía y de abonos.
- En las zonas rurales se evita la tala de árboles para extracción de madera a ser utilizada como combustible para cocción de alimentos.
- El biodigestor evita la propagación de plagas como moscos y roedores por los olores cuando la materia se descompone al ambiente.
- Cumplen la función ecológica de reciclar totalmente los desechos orgánicos.

### **1.3.1 Descripción general**

Inicialmente la carga (residuos orgánicos previamente recolectados y tratados si es el caso o estiércol con la proporción de agua adecuada) se adiciona al digestor por medio de un tanque de carga. La digestión anaerobia tiene lugar en el digestor (tanque sellado), el cual crea las condiciones ideales para que las bacterias fermenten el material orgánico en condiciones libres de oxígeno. Es posible que el digestor necesite de calentamiento y de agitación para lograr dichas condiciones y para que de esta manera las bacterias conviertan la materia orgánica en biogás. Durante este proceso entre el 30 y 60% de los residuos orgánicos se convierten en biogás.

El biogás producido es atrapado en la parte superior del digestor y es removido dejando una tubería por la cual sale el gas colectado. Algunas veces se necesita un filtro para limpiar componentes corrosivos contenidos en el biogás como el ácido sulfhídrico. El biogás

caliente se enfría a medida que viaja a través de la tubería, y se da la condensación del vapor de agua en el gas. Un drenaje remueve el condensado producido.

Cuando la producción de biogás es continua este puede ser almacenado en un tanque reservorio, donde se recomienda su recolección y/o combustión; el biogás se utiliza para generar calor o electricidad o ambos.

Para lograr mayor eficiencia en la producción del biogás es necesario contar con un pH óptimo, si este es muy ácido la acción de las bacterias metanogénicas se inhibe y aumenta la proporción de gas carbónico en el biogás.

El estiércol de bovino y piscícola alimentados con dietas altas de proteína, tienen alto contenido de carbono, de ahí la posibilidad de combinar las excretas en el biodigestor, para balancear el contenido de nutrientes e incrementar la eficiencia en la producción de biogás. Es importante incrementar la generación del calor durante la fermentación de la materia orgánica (proceso exotérmico), pues a medida que disminuye la temperatura ambiental por efectos de la altura sobre el nivel del mar este proceso de digestión se vuelve más lento y se realiza durante las horas más cálidas del día o utilizando calentadores solares para ello.

Para obtener una mayor producción de biogás, es necesario alimentar el biodigestor con la misma frecuencia. Una vez realizada la digestión anaerobia en el cual el estiércol seco es transformado por las bacterias en líquido (biol) este debe ser extraído para usarlo como abono, por lo general en biodigestores de flujo continuo la diferencia de densidades hace que el biol se expulsa por el ducto de salida, este biol se lo puede almacenar para su posterior comercialización o riego en los campos.

### 1.3.2 Partes del biodigestor

- a. Tanque de mezcla, es una caja de concreto, plástico o metal donde se mezcla las excretas o materiales orgánicos juntamente con agua, que luego se introduce en la cámara de digestión a través del ducto de ingreso
- b. Biodigestor (reactor o fermentador), es un tanque donde se produce la fermentación anaeróbica. Usualmente se construye en concreto o de ladrillo, fibra de vidrio, acero inoxidable y las plantas tipo balón con material plástico. Este se constituye en el volumen líquido donde se encuentran los desechos orgánicos, este tanque debe ser totalmente hermético para que no ingrese cantidades de oxígeno que puedan inhibir el proceso, ni haya fugas de biogás. El biodigestor puede ser una piscina recubierta de un poliuretano que aísla al suelo de la mezcla que está en el tanque.
- c. El gasómetro, es la sección donde se almacena el gas; el gasómetro y el digestor pueden constituir un solo cuerpo o estar separados. El gasómetro se constituye como el volumen gaseoso donde se acumula el gas producido.
- d. Tanque de descarga, recibe el material digerido, este posee un ducto de salida por el cual sale el biol, esto se produce por diferencia de densidades.
- e. Afluente, es la mezcla de desechos orgánicos con agua, cuando la materia es estiércol solo necesita mezclarse con agua y cuando la materia es desechos de cosecha necesita otro tratamiento antes de ingresar al biodigestor.
- f. Efluente, es un lodo bastante fluido constituido por la fracción orgánica que no alcanza a fermentarse. Su composición química, el contenido de materia orgánica y otras propiedades, dependen de las características de la materia prima utilizada y de factores ambientales.

### 1.3.3 Tipos de biodigestores.

#### a. De Cúpula Fija

Son aquellos armados en una sola estructura que por regla general es hecha en materiales rígidos (concreto, bloques o ladrillos). Debido a la alta presión que pueden alcanzar en su interior y a la constante variación de la misma, se recomienda su construcción en forma de domo, bajo tierra en suelos estables y firmes, y la impermeabilización de la parte interna de la estructura a fin de evitar el escape de líquido y gases.

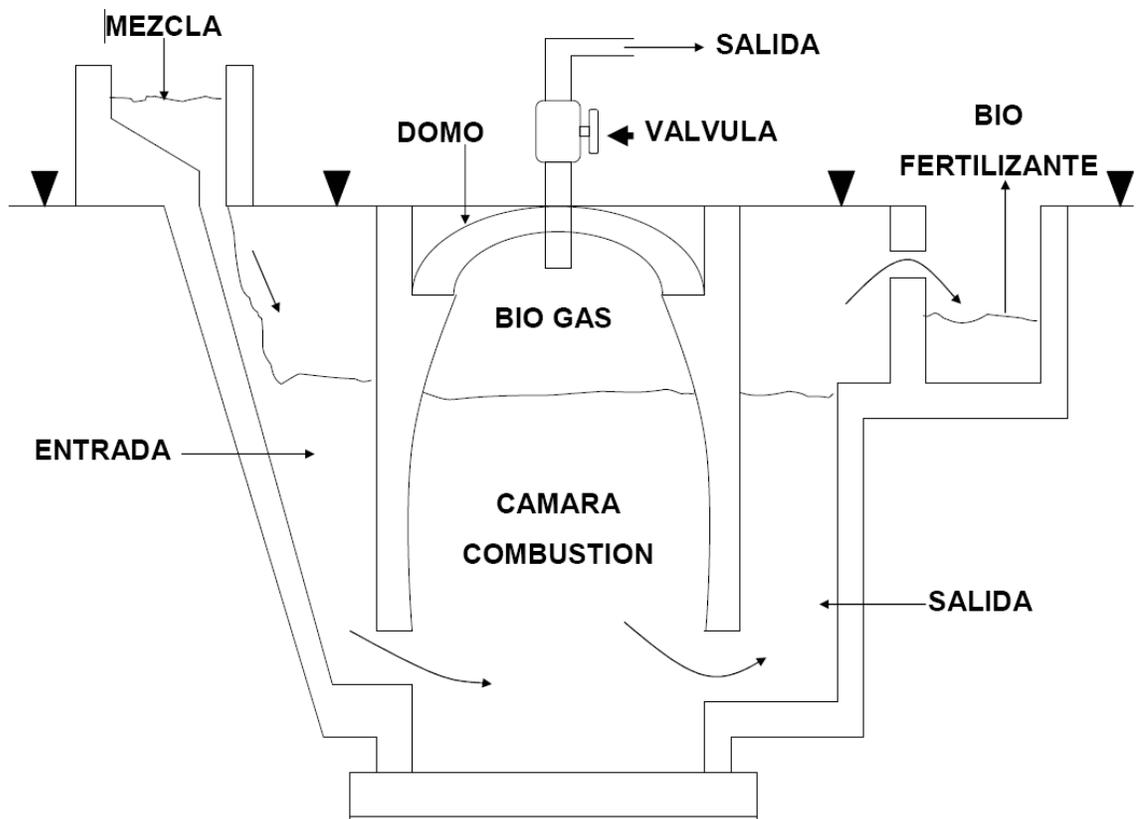


Figura 1.6 biodigestor de cúpula fija

El modelo de cúpula fija tiene como principal característica que trabaja con presión variable; sus principales desventajas, son que la presión de gas no es constante y que la cúpula debe ser completamente hermética, ello implica cierta complejidad en la construcción y costos adicionales en impermeabilizantes. Sin embargo, este modelo presenta la ventaja de que los materiales de construcción son fáciles de adquirir a nivel local, así como la inexistencia de partes metálicas que pueden oxidarse y una larga vida útil si se le da mantenimiento, además de ser una construcción subterránea.

### b. De Cúpula Móvil

Los biodigestores de este grupo tienen dos estructuras: la primera al igual que en los de estructura sólida fija, va enterrada y hecha en concreto, bloque o ladrillo; la segunda en la mayoría de los casos es una campana metálica que “flota” sobre la primera estructura.

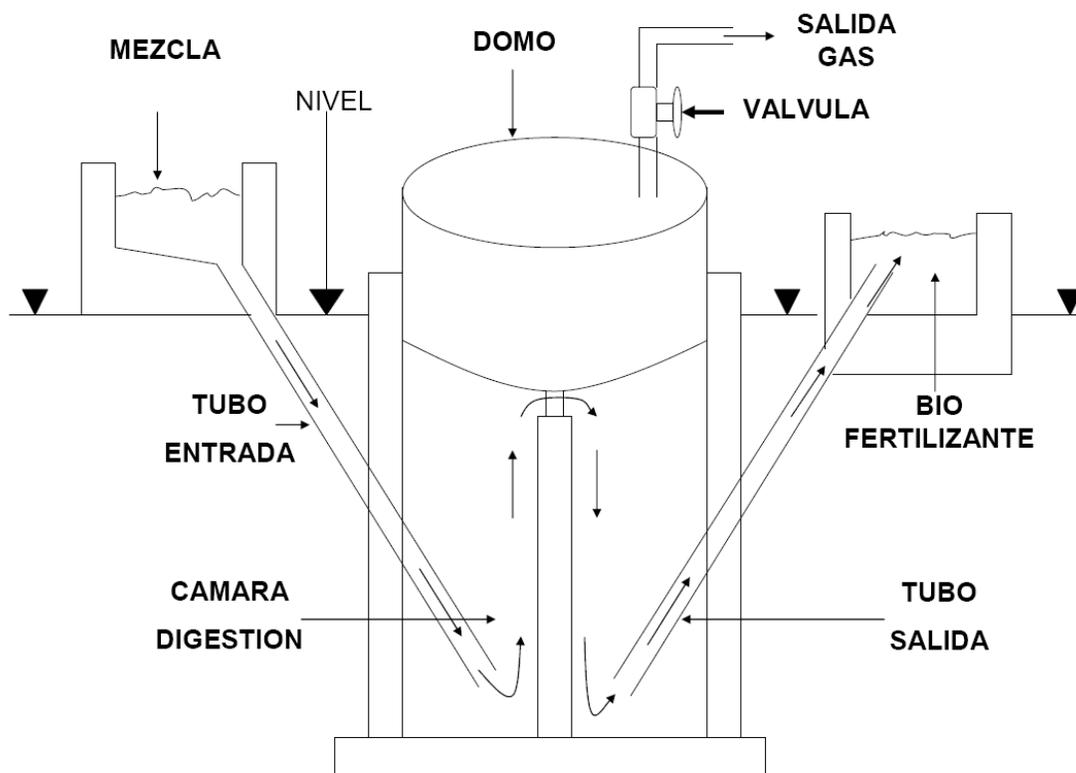


Figura 1.7 Biodigestor de cúpula móvil.

Se caracteriza por tener un depósito de gas móvil a manera de campana flotante. Esta campana puede flotar en la masa de fermentación o en un anillo de agua. Las ventajas de este tipo de planta son que trabajan a presión constante y se puede determinar la cantidad de gas almacenado por el nivel de la campana; pero tiene como desventaja que está expuesto a la corrosión ya que las campanas son generalmente metálicas. Últimamente se ha experimentado con fibra de vidrio y se han obtenido buenos resultados. Además, presenta costos altos de construcción y de mantenimiento, debido al uso periódico de pintura anticorrosiva.

### c. De Flujo Continuo:

Está compuesto de una bolsa de plástico, caucho, polietileno o geo membrana de PVC, completamente sellada. La parte **inferior** de la bolsa (75% de volumen) se rellena con la carga, mientras en la parte superior de la bolsa (25%) se almacena el gas. Los tubos de entrada y salida están sujetos directamente a la pared de la bolsa. Aunque este digester actúa como un reactor de tapón de flujo, el gas puede almacenarse en una bolsa separada.

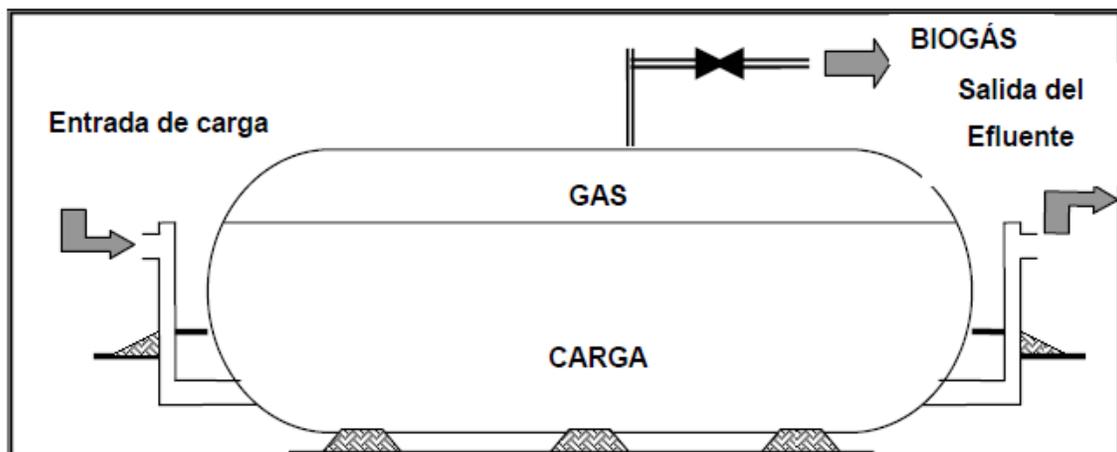


Figura 1.8 biodigestor de flujo continuo.

La ventaja de estos biodigestores es que son económicos y de fácil construcción pero su vida útil es muy corta y necesita más cuidados que los anteriores.

#### **d. De carga en batch**

En este tipo de biodigestores se carga una sola vez, el vaciado se lo realiza cuando la materia orgánica ha sido degradada totalmente y la producción de biogás ha cesado.

Este tipo de biodigestores se los puede realizar por dos motivos, el primero es cuando la disponibilidad de biomasa no es constante sino más bien de forma esporádica, el segundo caso es cuando a disponibilidad de mano de obra para el manejo diario es deficiente.

#### **1.3.4 Funcionamiento básico de los biodigestores.**

Inicialmente la carga (residuos orgánicos previamente recolectados y tratados si es el caso o estiércol con la proporción de agua adecuada) se adiciona al digestor por medio de un tanque de carga. La digestión anaerobia tiene lugar en el digestor (tanque sellado), el cual crea las condiciones ideales para que las bacterias fermenten el material orgánico en condiciones libres de oxígeno. Es posible que el digestor necesite de calentamiento y de agitación para lograr dichas condiciones y para que de esta manera las bacterias conviertan la materia orgánica en biogás. Durante este proceso entre el 30 y 60% de los residuos orgánicos se convierten en biogás.

El biogás producido es atrapado en la parte superior del digestor y es removido dejando una tubería por la cual sale el gas colectado. Algunas veces se necesita un filtro para limpiar componentes corrosivos contenidos en el biogás como el ácido sulfhídrico. El biogás caliente se enfría a medida que viaja a través de la tubería, y se da la condensación del vapor de agua en el gas. Un drenaje remueve el condensado producido.

Cuando la producción de biogás es continua este puede ser almacenado en un tanque reservorio, donde se recomienda su recolección y/o combustión; el biogás se utiliza para generar calor o electricidad o ambos.

Para lograr mayor eficiencia en la producción del biogás es necesario contar con un pH óptimo, si este es muy ácido la acción de las bacterias metanogénicas se inhibe y aumenta la proporción de gas carbónico en el biogás.

El estiércol de bovino y porcícola alimentados con dietas altas de proteína, tienen alto contenido de carbono, de ahí la posibilidad de combinar las excretas en el biodigestor, para balancear el contenido de nutrientes e incrementar la eficiencia en la producción de biogás.

Es importante incrementar la generación del calor durante la fermentación de la materia orgánica (proceso exotérmico), pues a medida que disminuye la temperatura ambiental por efectos de la altura sobre el nivel del mar este proceso de digestión se vuelve más lento y se realiza durante las horas más cálidas del día o utilizando calentadores solares para ello.

Para obtener una mayor producción de biogás, es necesario alimentar el biodigestor con la misma frecuencia.

Una vez realizada la digestión anaerobia en el cual el estiércol seco es transformado por las bacterias en líquido (biol) este debe ser extraído para usarlo como abono, por lo general en biodigestores de flujo continuo la diferencia de densidades hace que el biol se expulsado por el ducto de salida, este biol se lo puede almacenar para su posterior comercialización o riego en los campos.

#### **1.4 Fundamentos de la tecnología de producción de biogás.**

El biogás es un gas combustible que se puede obtener a partir de la biomasa, tal como son los desechos de humanos y de animales, residuos agrícolas, aceite de palma y plantas acuáticas. Este gas puede ser utilizado, por ejemplo, como combustible para motores que mueven una bomba de agua, en alumbrado y en la cocción de alimentos.

El mecanismo predominante para la conversión de la biomasa en biogás es la conversión bioquímica o digestión de biomasa orgánica que debe entenderse como un proceso natural que involucra varios procesos bacterianos y enzimáticos simultáneamente.

El método más común de producción de biogás es la digestión anaeróbica en un tanque cerrado llamado 'biodigestor'. La biomasa se mezcla en el digestor con agua para formar una suspensión, en la cual la digestión anaeróbica se realiza. En el primer paso, llamado licuefacción, la materia orgánica es descompuesta por hidrólisis enzimática y fermentada para producir principalmente ácidos y alcoholes. Seguidamente, en la etapa de gasificación, las bacterias metanogénicas rompen los ácidos y los alcoholes, para producir metano y dióxido de carbono, nitrógeno y ácido sulfhídrico.

El biogás obtenido en esta transformación lo constituye una mezcla de gases combustibles y su composición depende del tipo de material orgánico utilizado para su producción y de las condiciones de operación de los reactores donde ocurre la transformación.

Veamos de qué elementos o factores principales depende la producción de biogás:

#### **1.4.1 Ausencia de oxígeno**

Un ambiente anaeróbico se cumple con la ausencia de oxígeno, motivo por el cual el reactor debe ser sellado herméticamente. Cuando se descompone la materia en presencia de oxígeno se obtiene dióxido de carbono pero cuando la descomposición es sin oxígeno resulta metano. Por lo tanto, es esencial construir un digestor bien sellado para lograr un ambiente estrictamente anaeróbico y también para evitar escapes del gas que se produce.

#### **1.4.2 COV**

Un contenido insuficiente de agua en la mezcla alimentada al Biodigestor ocasiona que las bacterias y otros microorganismos no obtengan el entorno apropiado para que puedan funcionar efectivamente y la cantidad de biogás producido será pequeña. Si la mezcla es demasiado diluida, se puede digerir relativamente poca materia orgánica y la producción de biogás es limitada.

Si se usa primordialmente excreta humana y orines, estiércol y desechos de agricultura como alimento para el digestor, entonces la razón de biomasa a agua debe estar entre

1:1 y 1:2. Por consiguiente por cada 100 Kg. de heces y orina se requieren entre 100 y 200 litros de agua. Si el material de alimento consta principalmente de residuos vegetales, se requiere de más agua, en una razón de 1:3 o 1:4, estos datos empíricos se los expone para personas que desean llevar a cabo esta tecnología sin conocimiento científico. Un dato más técnico es que la materia orgánica se la debe ingresar con una dilución del 10 al 15 %.

Es esencial proporcionar una buena mezcla en el digester para promover una biodegradación efectiva, especialmente si se utiliza biomasa cruda con alto contenido leñoso

#### **1.4.3 Temperatura del proceso**

Se ha comprobado que la degradación de los desechos se puede realizar a cualquier temperatura por entre los 15 y 60 °C, menor a esta temperatura se produce poco biogás, debajo de los 10 °C la digestión cesa completamente, la mayor parte de bacterias trabajan de manera óptima en el rango 30 a 35 °C en este ambiente la producción de biogás es la mejor.

Las bacterias son sumamente sensibles a los cambios de temperaturas más aún si disminuye unos pocos grados. La velocidad de degradación es directamente proporcional a la temperatura. En la región andina de nuestro país alcanzar la temperatura mesofílica (25 a 45 °C) o termofílica (45 a 60 °C) trae como consecuencia una demanda energética considerable, a temperaturas menores a 25 °C el tiempo de retención hidráulico aumenta debido a la lentitud con la que las bacterias se reproducen.

#### **1.4.4 Tiempo de retención hidráulica**

El tiempo de retención hidráulica es el periodo de tiempo en días que permanece la materia orgánica en el reactor y en este tiempo es consumida totalmente. El TRH está ligado directamente con el tipo de biomasa y su facilidad para degradarse. Períodos de retención de 10 a 25 días para la mezcla en el tanque digester son usuales para la mayoría de países

tropicales. Si las temperaturas ambientales son altas, por ejemplo, en promedio entre 30 y 35° C, puede ser suficiente un período de retención más corto, de 15 días. En climas más fríos, son comunes periodos de retención más largos, de 80 a 90 días. En el caso de desechos de ganado porcino que son ricos en ácidos volátiles se necesitan de 10 a 15 días; los excrementos de bovinos que contienen compuestos de difícil descomposición requieren mínimo de 20 días de digestión.

#### **1.4.5 Acidez de la mezcla**

Las bacterias metanogénicas son muy sensibles a las variaciones en acidez/alcalinidad (PH) de la mezcla del digestor. Para un funcionamiento óptimo, el valor del pH de la mezcla debe mantenerse dentro del rango de 6.8 a 7.5, esto es, neutral a ligeramente alcalino. El valor del pH puede ser determinado con bastante precisión con una prueba de papel de litmus una muestra del agua. Durante el proceso de digestión, se producen ácidos orgánicos, y si no se controlan, la mezcla en el tanque puede gradualmente tornarse ácida, lo que puede inhibir los procesos bacterianos y enzimáticos en el biodigestor. La regulación del pH en el rango deseado se logra agregando regularmente a la mezcla materiales alcalinos, tales como cal o cenizas.

Para biodigestores de grandes volúmenes se recomienda usar bicarbonato de sodio, ya que la cal reacciona con el dióxido de carbono y en caso de ser negativa esta reacción puede causar daños muy serios en la actividad bacteriana.

El pH es un indicador importante del comportamiento bacteriano dentro del biodigestor, pudiendo proporcionar información de sobrecarga de alimento o la presencia de un inhibidor.

Causas que puedan producir la acidez en el biodigestor:

- Cambio excesivo de la carga
- Permanencia por largo tiempo sin recibir carga
- Presencia de productos tóxicos en la carga
- Cambio amplio y repentino de la temperatura interna

- La alta acidez se puede corregir al adicionar agua con cal en la fase líquida.

#### **1.4.6 Agitación**

La agitación de la mezcla está relacionada directamente con la producción de biogás, ya que al no ser agitada en la parte superior se forma una nata donde se acumula gran cantidad de materia prima y pocas bacterias, esto produce que el biogás sea retenido, también se forma una segunda capa donde la mitad es líquida y la mitad es sólida, y una tercera capa donde se encuentran los sedimentos y abundancia de bacterias productoras de biogás, por tal motivo es importante agitar la mezcla para que exista homogeneidad en la biomasa y en la producción de biogás.

Al agitar creamos uniformidad en el reactor, haciendo que toda la biomasa se ponga en contacto con las poblaciones bacterianas, rompemos las formaciones de capas que retienen el biogás en el fondo del reactor e incluso con la agitación favorecemos la uniformidad de temperatura en todo el reactor. Principalmente los objetivos es la remoción de burbujas de biogás atrapadas en el sustrato, uniformidad del sustrato, la temperatura y evitar la formación de costras, natas y espumas en la superficie del sustrato

#### **1.4.7 Inhibidores del proceso**

Los inhibidores del proceso son factores que producen una caída o el cese completo de la producción de biogás, es importante conocer estos factores para un correcto manejo en la producción de biogás

Los inhibidores del proceso metanogénico lo podemos encontrar incluso en la biomasa, en el caso de los estiércoles los casos son los siguientes:

- Cuando al animal se le ha dado antibióticos.
- Cuando se recolecta la biomasa con agua de lavado, en ocasiones se usa productos químicos para el lavado que hacen reaccionar negativamente el proceso anaeróbico.
- En la biomasa vegetal podemos encontrar inhibidores con la aplicación de fungicidas.

- El aumento o disminución del pH puede tornarse en un aspecto que puede incluso detener la producción de biogás por tal motivo es necesario llevar un control continuo de este parámetro.

## **1.5 Productos obtenidos de esta tecnología**

### **1.5.1 Biogás**

El gas que se produce durante la descomposición tiene un valor calorífico de 5.6 a 7.2 Kwh/m<sup>3</sup>. Una vez se ha purificado el metano, su composición es muy similar a la del gas natural. El vapor de agua puede eliminarse haciendo pasar el gas a través de un elemento desecante, tal como el cloruro cálcico y de este modo se evita el que se produzca algún tipo de condensación en el conducto del gas, condensación que produciría un enmohecimiento de los conductos de acero ligero. El cloruro cálcico puede regenerarse mediante el calor, con el fin de eliminar el agua absorbida. Tanto el dióxido de carbono como el amoníaco pueden eliminarse haciendo pasar el gas a través de una lechada de cal, ya que ambos gases reaccionan con ella para formar carbonato cálcico y carbonato amónico. Los indicios de sulfuro de hidrógeno pueden eliminarse haciendo pasar el gas a través de limaduras de hierro, las cuales pueden luego regenerarse mediante su exposición al aire. Pero incluso después de estar purificado, el metano no puede arder en un quemador ordinario de gas natural, dado que la correcta combustión depende también de la presión a la que se suministra el gas. Si bien es posible mantener la llama en el quemador a presiones inferiores a los 2.3 kilonewtons por metro cuadrado (kN/m<sup>2</sup>) de gas, el gas no quemará con eficacia y se obtendrá menos calor. A su vez, puede diseñarse un quemador para el gas procedente del digester, una vez que se han eliminado los componentes corrosivos, tales como el vapor de agua o el sulfuro de hidrógeno. Singh (1971) proporciona unas cifras para el metano sin purificar, con un valor calorífico de 5,8 KWh/m<sup>3</sup>, que quema en un determinado quemador con un rendimiento de un 60%, proporcionando un valor real de 3,5 KWh /m<sup>3</sup>.

En teoría, el valor calorífico del metano puro es de 14,7 KWh/kg, lo que le sitúa por encima del petróleo (entre los 11,6 y los 12,3 KWh/kg). Cuando una máquina de combustión interna se alimenta con gas natural o con metano producidos por residuos y no mediante derivados del petróleo, las emanaciones tóxicas de monóxido de carbono y de hidrocarburos sin quemar se reducen aproximadamente a la mitad. El metano únicamente puede licuarse a presiones de 34.000 kN/m<sup>2</sup> aproximadamente. Se estima que una vaca mantenida a cubierto proporciona el equivalente a 1,8 litros de petróleo diario, utilizando la equivalencia de que 1 litro de petróleo equivale a 1,2 m<sup>3</sup> de gas.

### **1.5.2 Producción de abono**

Los nutrientes presentes en las excretas se encuentran usualmente ligados a formas orgánicas complejas tales como proteínas, carbohidratos y lípidos. Mediante el proceso de biodigestión, estos compuestos son desdoblados dejando los nutrientes en formas simples y fáciles de asimilar por las plantas. En los biodigestores no se destruye ninguno de los nutrientes presentes en los desechos, pero estos se hacen más disponibles para las plantas. Gracias al proceso de biodigestión anaeróbica el nitrógeno pasa a formas más asimilables e incrementa su disponibilidad, mientras el fósforo y el potasio no se ven afectados.

Además de su valor para proveer nutrientes, el efluente ayuda a mejorar las propiedades físicas del suelo contribuyendo a recuperar áreas con suelos degradados. “El biofertilizante líquido promueve el equilibrio nutricional del suelo, aumenta su fertilidad natural, estimulando a los microorganismos benéficos del suelo. El bioabono líquido es rico en minerales, aminoácidos, vitaminas y hormonas. También mejora el balance nutricional en la planta, haciéndola más resistente al ataque de plagas y enfermedades originadas por el desequilibrio ambiental; es por eso que en algunos casos se le atribuye el efecto de actuar como repelente, fungicida o insecticida suave.” Aumenta la producción, mejora la calidad de los productos, garantizando al agricultor mayor aceptación de sus productos y precio en el mercado. Un metro cúbico de bioabono producido y aplicado diariamente, puede fertilizar más de 2 ha. de tierra por año” (Schügel, Karl, “Bioreactionengineering”, 1985).

El efluente líquido: presenta ventajas como la alta disponibilidad de nutrientes y la buena absorción por parte de las plantas, puede aplicarse inmediatamente después de la descarga del digestor, o puede almacenarse en tanques cerrados por un período no mayor a 4 semanas, para evitar grandes pérdidas de nitrógeno.

Efluente compostado: Otra manera de manejar el efluente es agregándole material verde (desechos de forraje de establo) y compostándolo, este método produce pérdidas de nitrógeno del 30 % al 70 %, pero tiene la ventaja de que el producto final es compacto, en forma de tierra negra, lo que facilita el transporte, comercialización y aplicación.

Efluente seco: El secado resulta una pérdida casi total del nitrógeno orgánico de cerca del 90%, lo que equivale al 5% del nitrógeno total. Las producciones observadas en cultivos al utilizar el efluente seco son las mismas que al usar estiércol seco o estiércol almacenado, este procedimiento se recomienda cuando se vayan a fertilizar grandes áreas. Como biofertilizante puro, presenta una concentración de nutrientes relativamente alta, y a pesar de esta característica, puede ser aplicado directamente a los cultivos. Se lo utiliza también como aditivo en la preparación de soluciones nutritivas para cultivos hidropónicos. Las ventajas de la utilización de bioabono como fertilizante son enormes, no solo por su bajo costo sino más bien por los excelentes resultados que se obtienen en la producción agrícola de todo tipo de cultivos.

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO DE LA PLANTA DE BIOGÁS.**

En el presente proyecto la planta de biogás no es una unidad temporal, más bien es un proyecto que se pretende mantenerse por años como una alternativa de energía limpia y tratamiento de desechos, por otro lado es una planta piloto que debe proporcionar datos técnicos exactos como una planta de mayor envergadura, por tal motivo los diseños se lo debe realizar tratando de eliminar a cero los errores de cálculo, como la toma de decisiones por diseño.

La dimensión de la planta de biogás está directamente ligada a la decisión del dueño de la granja en la cual influye el factor económico y el desconocimiento de la efectividad de esta tecnología, manejando estas variables se debe ajustar el diseño para obtener resultados totalmente satisfactorios.

#### **2.1 Parámetros de diseño.**

Los parámetros de diseños son algunas variables que deben tomarse en cuenta para proceder a realizar el delineamiento de un sistema de generación de biogás eficaz, entre estas variables tenemos la temperatura ambiente donde se va a instalar el sistema, es el primer parámetro a ser tomado en cuenta ya que este determina el tiempo de retención hidráulica de la mezcla, además se debe analizar si económicamente es viable darle al proceso una mayor temperatura o no. Otro parámetro importante es la disponibilidad y calidad de biomasa lo cual nos da como resultado la cantidad de biogás producido por día, y esto desemboca en el dimensionamiento del sistema.

La disponibilidad de mano de obra y materiales es fundamental a la hora de tomar decisiones de diseño, sabiendo que es una tecnología relativamente nueva se debe evitar usar materiales inexistentes en el país o equipos de difícil manipulación para los operarios

del sistema ya que terminaría en aumento de costos por servicios de mano de obra calificada o en su defecto al ocupar materiales importados al momento de una falla el proyecto se paralizaría o incluso moriría

Es importante el análisis del suelo donde se va a ubicar el digester, una mala decisión puede causar el fracaso del proyecto y la pérdida de cuantiosas sumas de dinero. Finalmente tenemos otros parámetros menos importantes pero si influyentes, como el porcentaje de reducción de contaminación y la aplicabilidad del biodigestor; producción de energía, fertilizante o tratamiento de desechos.

La base del proyecto está en la producción de biogás y el tratamiento del desecho orgánico contaminante parámetros fundamentales para el diseño.

### **2.1.1 Biomasa**

Es importante conocer el tipo y disponibilidad de la biomasa con la cual se va a trabajar en la planta de biogás, es importante conocer la producción real diaria para poder tratar todos los desechos mediante el correcto dimensionamiento del biodigestor si este es el caso, o conocer el porcentaje de disminución de contaminación. Si la producción de biomasa es menor a la estipulada tendremos problemas en la alimentación del biodigestor y la producción de biogás y biol será menor a la calculada, si esta brecha es más grande incluso podríamos matar de hambre a todas las bacterias que intervienen en el proceso.

Por otro lado si la producción de biomasa es mayor a la estipulada para el dimensionamiento incurrimos en el problema de no tratar todos los desechos producidos, si intentamos introducir el exceso de biomasa podemos empachar el sistemas y dañar completamente a las bacterias inhibiendo el proceso. Se debe analizar la forma que se utiliza para la recolección de biomasa, si deseamos conectar el biodigestor a los establos para usar el agua de lavado se debe tomar mediciones para que la biomasa alimentada se la correcta, esta no debe tener ni exceso ni deficiencia de masa volátil, muchas veces las aguas de

lavado se mezclan con el estiércol diluyendo demasiado la biomasa creando deficiencia de alimentación para las bacterias, disminuyendo la población microbiana y por lo tanto la producción de biogás.

Las características fisicoquímicas de la biomasa también son datos muy importantes para el dimensionamiento de la planta de producción de biogás, el porcentaje de la Masa Seca influye directamente en el dimensionamiento del reactor y el porcentaje de Masa Volátil influye en la producción de biogás.

### **2.1.2 Temperatura del proceso**

La temperatura influye directamente en el dimensionamiento del biodigestor por lo tanto es importante conocer la temperatura ambiente del lugar del proyecto, para las temperaturas se toma tres medidas las temperaturas máximas, medias y mínimas y se saca un promedio mensual para seleccionar la temperatura que estará ligada al TRH.

De igual forma se debe tomar la temperatura del agua de mezcla y de la biomasa para determinar la temperatura con la que se introducirá el sustrato al biodigestor, todos estos datos nos permitirán pensar en algún sistema de calentamiento para elevar la temperatura interna del biodigestor y así obtener los mejores resultados en la producción de biogás, debemos analizar si económicamente los sistemas de calentamiento son viables para cada proyecto ya que estos influyen en la complejidad de la planta y directamente el aumento de costos. A menores rangos de temperatura si existe producción de biogás la diferencia radica en que las bacterias descomponen los desechos de forma más lenta lo que aumenta el tiempo de retención de la mezcla. A temperaturas menores a los 5 °C la producción de biogás cesa totalmente, las bacterias metanógenas mueren y el proceso se detiene.

La zona de Pintag es un lugar con variabilidad de temperatura durante el transcurso del día, en la mañana la temperatura está entre los 12 a 14 °C, al medio día se alcanza un temperatura de 22 a 26 °C en la tarde se bordea los 15 a 18°C y en la noche una vez más la

temperatura desciende a los 12 a 14 °C. El biodigestor opera a temperatura ambiente es decir entre 15 - 20°C y presión atmosférica normal, lo cual favorece a la digestión anaeróbica.

### 2.1.3 Tiempo de retención hidráulica.

En los sistemas continuos como el caso de este proyecto el TRH se define como el cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria, esto es básicamente el tiempo que tarda en digerirse la materia orgánica. El TRH está íntimamente ligado a la temperatura del proceso, a mayores temperaturas menos THR, mientras más baja sea la temperatura el tiempo de estadía se incrementara, esto para la misma cantidad de sustrato a ser digerido. El TRH mínimo inicial es el tiempo que tardan en desarrollarse las bacterias metanogénicas.

**Tabla II.1 tiempo de retención hidráulico**

<b>Temperatura ambiental promedio</b>	<b>RETENCIÓN HIDRAULICA</b>
Cálido - más de 24 °C	10 a 15 días
Medio-18 a 24 °C	20 a 30 días
Frío - menos de 18 °C	40 a 60 días

### 2.1.4 Carga orgánica volumétrica

La COV es el factor determinante para el dimensionamiento del biodigestor, un valor recomendado es de 2,5 a 3 Kg MV/m<sup>3</sup> del biodigestor por día, a mayores valores de COV se corre el riesgo de sobrealimentar a las bacterias e inhibir completamente el proceso

### 2.1.5 Reducción de contaminación:

El estiércol que se producía en esta granja anteriormente era lanzado en los terrenos de la misma propiedad, lo cual incidía directamente en la contaminación tanto ambiental como de los suelos y por olores, se intenta a través de este biodigestor reducir la contaminación total. Se quiere encontrar un dimensionamiento óptimo que nos permita tratar 50 kg de estiércol diario.

### 2.1.6 Aplicabilidad:

En nuestro caso el biodigestor tiene dos finalidades importantes, el tratamiento de los desechos para reducir la contaminación de la granja a cero y la producción de biogás para usarlo como biocombustible y consecuentemente producir energía eléctrica.

## 2.2 Especificaciones técnicas

### 2.2.1 Metodología de diseño

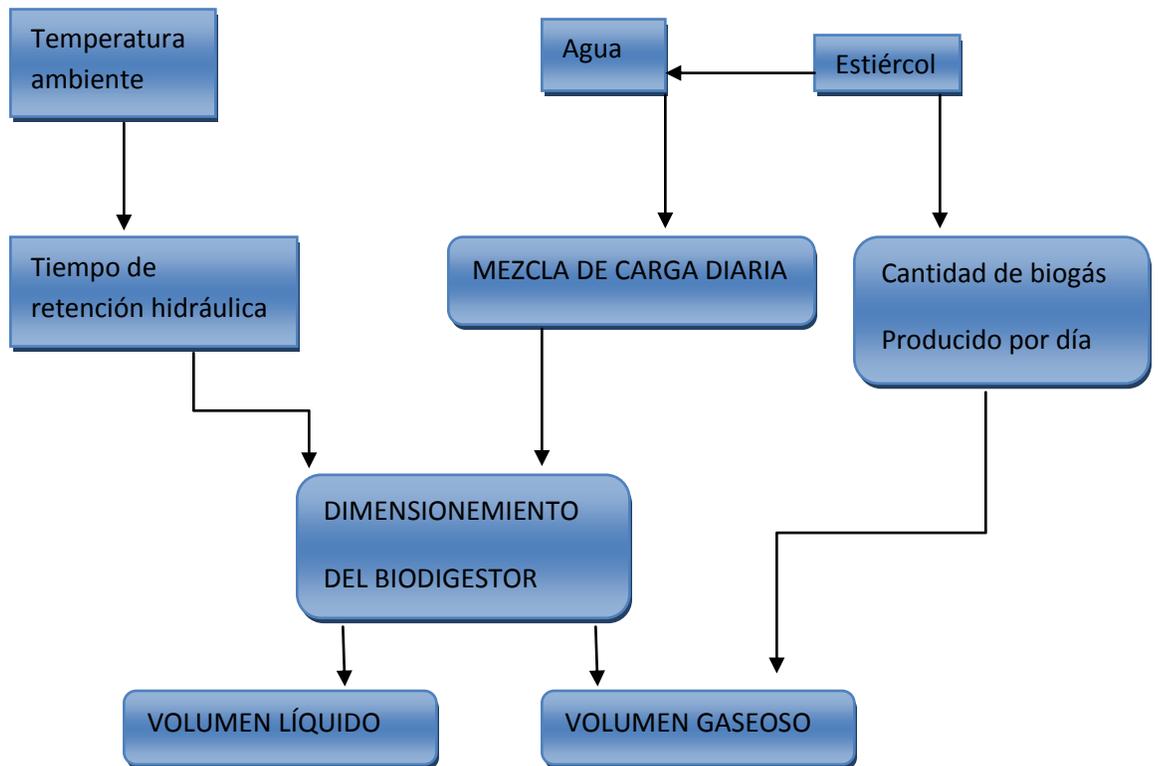


Figura 2.1 metodología de diseño biodigestores.

### 2.2.2 Datos del proyecto

Tabla II.2 datos del proyecto

<b>Especificación:</b>	<b>Dato</b>
Ubicación:	Pintag
	Pichincha
	Ecuador
Altura	2500 msnm
Temperatura ambiente	
Mínima	14 °C
Media	18 °C
Máxima	25 °C
Aprovechamiento:	
Primario	Planta piloto para producción y estudio de biocombustible.
Secundario	Descontaminación ambiental.

### 2.2.3 Datos de la biomasa

El tipo de biomasa usada en nuestro proyecto es netamente el estiércol de ganado porcino que se explota de forma intensiva en esta granja, el objetivo de la granja al implementar el presente proyecto es reducir la contaminación ambiental producida por la explotación, nosotros buscamos aprovechar el desecho para un proyecto piloto para generar electricidad, por lo tanto a continuación presentamos algunos datos sobre el estiércol de cerdo:

El estiércol de cerdo es una biomasa homogénea, en el tipo de explotación en la que nos encontramos es una explotación por confinamiento en corrales, por lo tanto la

recolección se la realiza sin materia extraña ni mezcla con otro tipo de biomasa, la consistencia es ideal para ser disuelta y usada en biodigestores.

El sistema que usaremos para la recolección de la biomasa consiste en recoger el estiércol en baldes antes del lavado, se traslada el estiércol al lugar cercano al biodigestor, se pone en el tanque de mezcla se homogeniza e introduce por el tanque de carga, por lo tanto el estiércol no está mezclado con agua de lavado, consecuentemente los análisis fisicoquímicos son los normales.

Para determinar la producción de estiércol que se va a usar en el proyecto se realizó la recolección en tres días diferentes a la misma hora, se pesó el material recogido y se sacó un promedio, el dato usado en el presente proyecto es específico, no se realizó cálculos en función de peso del animal debido a que para este parámetro influyó directamente la decisión del propietario de la granja.

**Tabla II.3 Producción de estiércol para consumo biodigestor**

<b>Día</b>	<b>Prueba</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Lunes 12 agosto. 2010	1	60
Miércoles 14 agosto. 2010	2	64
Viernes 16 agosto. 2010	3	62
	Promedio	<b>62 kg</b>

Se usará de dato 50 Kg de estiércol, como factor de seguridad, ya que esta granja se dedica al expendio de carnes, por lo general la tendencia es a disminuir el plantel debido a la venta, el pico máximo de producción es el que nos encontramos en la actualidad.

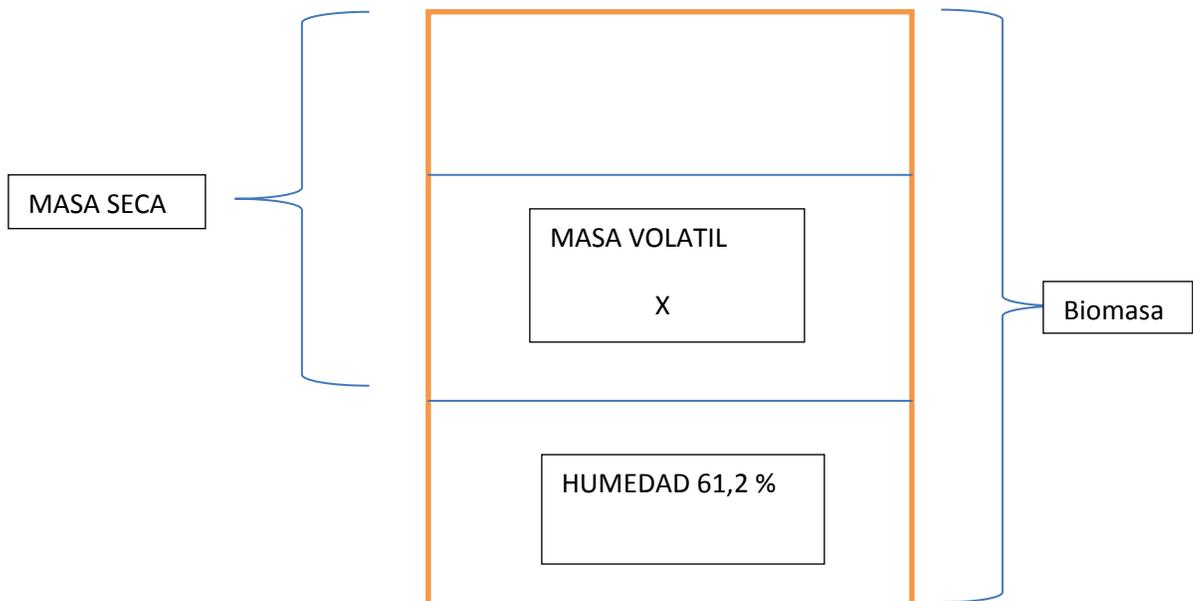
Se ha tomado una muestra de estiércol de un kilogramo de peso y se envió a hacer los respectivos análisis químicos, los resultados son los siguientes:

**Tabla II.4 Resultado de análisis fisicoquímico del estiércol**

<b>Análisis</b>	<b>Resultado</b>
Humedad	61,28 %
Ceniza	7,3 %

Se realiza el siguiente análisis:

La humedad es la cantidad de agua contenida en la muestra que para nosotros es biomasa, la ceniza es la cantidad de materia inorgánica contenida en la muestra, la que se convertirá en lodos, por un simple análisis y calculo obtenemos los siguientes resultados



**Figura 2.2 Composición de la biomasa**

$$\% \text{ MASA SECA} = 100\% - \% \text{ HUMEDAD}$$

$$\% \text{ MS} = 100\% - 61,2\%$$

% MS = 38,8 %

% MASA VOLATIL = 100% - % HUMEDAD - % CENIZAS

% MV = 100% - 61,2% - 7,3%

% MV = 31,5 %

**Tabla II.5 composición de la biomasa en %**

<b>Especificación:</b>	<b>Dato en %</b>
Tipo de animal	Cerdo
Cantidad de estiércol diario	50 kg
Temperatura del estiércol	15 °C
% de humedad	61,2%
% Masa Seca	38,8%
% Masa Orgánica	31,5%
% Cenizas	7,3%

**Tabla II.6 composición de la biomasa en kg**

<b>Especificación:</b>	<b>Dato en kg</b>
Cantidad de estiércol diario	50 kg
Humedad	30,6
Masa Seca	19,4
Masa Orgánica	15,75
% Cenizas	3.65

Una de las mayores ventajas que poseemos es el sistema de recolección, si bien es manual presenta ciertas ventajas, no se necesita verificar la densidad y % de dilución ya que no existe mezcla con el agua de lavado.

### 2.2.4 TRH y Temperatura

La temperatura promedio ambiente es de 16 °C, por lo tanto elegimos un TRH de 45 días según la tabla siguiente:

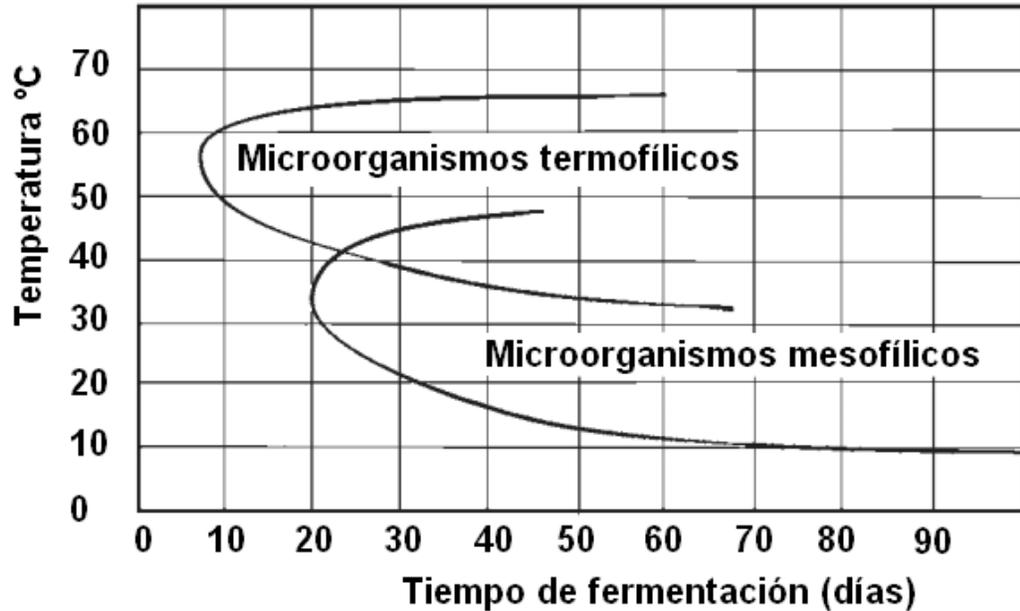


Figura 2.3 TRH

### 2.2.5 Dilución

Para el correcto funcionamiento del sistema anaeróbico se necesita introducir la materia orgánica con una dilución del 10 al 15 %.

### 2.2.6 Selección de los materiales

Hay algunos factores que se deben tomar en cuenta para la selección de materiales para construir nuestro biodigestor.

- Disponibilidad del material en la zona.
- Durabilidad en función del tiempo.
- Costos que influyen en la factibilidad del proyecto.
- Mano de obra disponible para trabajar dichos materiales.
- Facilidad en la operación.

## 2.3 Dimensionamiento del sistema de producción de biogás.

Biomasa: estiércol de cerdo

Cantidad de biomasa (Q):

$$Q = 50 \text{ kg/día}$$

Porcentaje de masa seca (%MS)

$$\% \text{ MS} = 38,8\%$$

Cantidad de masa seca (Q (MS))

$$Q \text{ (MS)} = 19,75 \text{ kg}$$

Porcentaje de dilución

$$\% \text{ Dilución (\%D)} = 10\%$$

Afluente diario requerido (Q afluente) =  $MS/\%D$

$$19,75/1$$

$$= 197,5$$

Volumen de agua para la mezcla ( $V_{H_2O}$ )

$$V_{H_2O} = 197 - 50$$

$$V_{H_2O} = 147 \text{ lt}$$

Para efectos de cálculo, volumen (V) = peso (W)

## 2.4 Determinación del tamaño del biodigestor.

### 2.4.1 Tanque de carga.

Biomasa: estiércol de cerdo

Cantidad de biomasa (Q):

$$Q = 50 \text{ kg/día}$$

Porcentaje de masa seca (%MS)

$$\% \text{ MS} = 38,8\%$$

Cantidad de masa seca (Q (MS))

$$Q \text{ (MS)} = 19,75 \text{ kg}$$

Porcentaje de dilución

$$\% \text{ Dilución (\%D)} = 10\%$$

$$\text{Afluente diario requerido (Q afluente)} = \text{MS}/\%D$$

$$19,75/0,1$$

$$Q=197,5$$

Por cuestiones de carácter económico el tanque de carga será independiente del tanque de mezcla. El tanque de mezcla será metálico o plástico, el cual debe tener una capacidad de 200 lt como mínimo, este tipo de tanques se los consigue comercialmente.

#### **2.4.2 Biodigestor o reactor.**

##### **a. Metodología de diseño 1.**

Biomasa: estiércol de cerdo

$$Q = 50 \text{ Kg/día}$$

$$Q (\text{MS}) = 19,75 \text{ kg}$$

$$Q \text{ afluente} = 197,5 \text{ lt}$$

TRH= 45 días, según la temperatura ambiente a la que vamos a trabajar.

Volumen del digestor V (d):

$$V (d) = Q \text{ afluente} \times \text{TRH}$$

$$V (d) = 197 \text{ lit} \times 45$$

$$V (d) = 8865 \text{ lt.}$$

$$\text{MO} = 15,75$$

$$\text{COV} = \text{MO}/Vd$$

$$\text{COV} = 15,75 / 9$$

$$\text{COV} = 1,75 \text{ Kg/m}^3$$

Esta carga orgánica volumétrica (COV) es aceptable para el presente proyecto lo cual nos permite aumentar la carga diaria o disminuir el volumen del digestor, por factor de seguridad vamos a dimensionar un 10% el volumen calculado, para eventuales incrementos en la producción de biomasa.

## b. Metodología de diseño 2

Para determinar el volumen del biodigestor, se aplica la siguiente formula:

— —

Dónde:

VB es el volumen del biodigestor.

TR es el tiempo de retención.

EP es el estiércol producido.

EP es la densidad del estiércol.

RA es la cantidad de agua agregada en la mezcla según la relación estiércol agua.

A es la densidad del agua.

Aplicando la fórmula a los valores obtenidos y considerando una densidad del estiércol de 993 kg/m<sup>3</sup> y de 1000 kg/m<sup>3</sup> para el agua.

Se calcula como sigue:

TRH = 45 días

EP= 50 lt

RA= 150 lt

— —

— —

9,01 m<sup>3</sup>

Como podemos observar las dos metodologías de diseño nos permiten llegar a datos aproximadamente iguales.

### **2.4.3 Tanque de descarga.**

Dentro del biodigestor la acción anaeróbica hace que el volumen que se cargó disminuya al salir, por lo tanto necesitamos un tanque que nos permita contener este volumen de biol hasta ser extraído totalmente. Por lo general el dimensionamiento de los tanques de descarga se lo realiza dependiendo de la frecuencia de uso del biol, en el presente proyecto se dimensionará el tanque de descarga para el afluente diario, por cuestiones de orden económico y se almacenará en tanques metálicos o plásticos que se los consigue comercialmente

El tanque de descarga finalmente tendrá un volumen de 150 lt.

### **2.4.4 Tuberías de captación de biogás**

Las tuberías de captación de biogás se aplican dependiendo de la producción de biogás, la forma y tamaño del biodigestor este indicador nos permite estimar el número de tuberías de captación a aplicar. En nuestro proyecto la forma del biodigestor es un cilindro con cúpula, por lo tanto aplicaremos una sola tubería de captación. Esta tubería será en tuvo de pvc de 1/2"

### **2.4.5 Tanque de almacenamiento de biogás.**

El volumen del tanque de almacenamiento de biogás se lo calcula por lo menos para una producción de 4 horas de energía eléctrica para dos días, en nuestro proyecto usaremos una capacidad de almacenamiento de 6 m<sup>3</sup> más el volumen del digestor de 1 m<sup>3</sup> por el factor de seguridad, la elección de este parámetro es para el estudio del biogás como combustible. El dimensionamiento del biodigestor no es industrial, más bien un prototipo para estudio de combustible y descontaminación, motivo por el cual la producción diaria de biogás no necesita de un gran volumen de almacenamiento.

## 2.5 Cálculo de la producción diaria de metano

Las unidades en las que se mide los volúmenes de biogás son los siguientes: metros cúbicos por kilogramo de masa volátil ( $\text{m}^3/\text{Kg MV}$ ), o en metros cúbicos por kilogramos de masa seca ( $\text{m}^3/\text{Kg MS}$ ).

La literatura nos presenta algunos valores para la producción de biogás, entre 1 y 2  $\text{m}^3/\text{m}^3$  del digestor o 0,3 a 0,5  $\text{m}^3/\text{kg MV}$ , estos datos son una aproximación empírica de otros proyectos realizados. La producción de biogás puede variar incluso día con día, esto depende básicamente de los nutrientes presentes en la biomasa por esta razón es imposible calcular exactamente la producción de biogás, básicamente porque no se puede saber la cantidad de nutrientes en la biomasa.

Es importante saber que la temperatura dentro del biodigestor influye directamente en la producción de biogás, en nuestro proyecto se trabajará a temperaturas relativamente bajas por lo tanto tendremos baja producción de biogás.

Finalmente la producción de biogás está ligada directamente a la homogenización de la mezcla por tanto para obtener una mayor producción de biogás se debe tener una mejor mezcla y un buen sistema de agitación.

Aquí presentamos una fórmula para el cálculo de producción de biogás a diferentes temperaturas y presiones.

$$V = R \times T / P$$

Dónde:

R = constante ideal de los gases (62,367)

T = temperatura en grados Celsius

P = presión en mm Hg.

## **2.6 Construcción de biodigestor**

Conocemos que el biodigestor debe tener una capacidad de  $10 \text{ m}^3$ , en base a esto se analizará la construcción de la planta.

### **2.6.1 Elección del tipo de biodigestor.**

A continuación se propone varios tipos de biodigestores y su consecuente análisis para la elección:

#### **2.6.1.1 Biodigestores sobre tierra.**

Son aquellos cuya construcción total se la realiza sobre tierra.

##### **a. Metálicos**

Los biodigestores metálicos son siempre construidos en acero inoxidable. El análisis de las dificultades y ventajas que se presentan en este tipo de material son:

- Sus elevados costos
- Conseguir el acero inoxidable con el espesor suficiente para soportar las cargas.
- Se necesitaría mano de obra calificada en suelda de acero inoxidable.
- La mano de obra en la construcción se torna costosa.
- Se debería transportar los materiales y equipos de trabajo como suelda entre otros.
- Falta de disponibilidad de materia prima en la zona.
- Los tanques de carga y descarga se deberían realizar sobre el suelo, motivo por el cual se debería usar bombas para la carga y descarga

##### **b. PVC**

Se puede realizar biodigestores plásticos, con tanques que se consiguen comercialmente aquí el análisis:

- El costo del tanque plástico es bajo.
- El tiempo de armado se reduce totalmente.
- El tanque no resistirá los esfuerzos y se deformará.
- Para realizar la carga y descarga nos obliga a perforar el tanque y tener problemas de hermeticidad.

- El tanque plástico tiene una tapa roscada que por lo general no es hermética.
- La duración del tanque en función del tiempo es relativamente corta.

#### **2.6.1.2 Biodigestores bajo tierra.**

Este tipo de biodigestores tienen la particularidad que nos permite realizar la carga por gravedad lo que nos disminuye notablemente los costos de equipos para la carga del sustrato.

##### **a. Biodigestor con membrana EPDM**

Este tipo de biodigestores son de construcción mixta, con piscina de concreto y cubierta de membrana EPDM que es una membrana flexible que nos permite hermetizar el tanque y almacenar el gas el análisis sería:

- La membrana EPDM es un material que no existe en el país, por lo cual se debería importar.
- Los costos para importar el material son bastante altos.
- El tiempo para la importación es desconocido, lo cual paralizaría el proyecto.
- La mano de obra para pegar las tiras de membrana es inexistente en el país.

##### **b. Biodigestor de concreto.**

La construcción totalmente es en concreto, el análisis como sigue.

- Costo de implementación intermedio.
- Costo de mano de obra intermedio
- Disponibilidad de materiales en la zona.
- Disponibilidad de mano de obra en la zona.
- Durabilidad en función del tiempo.
- No se deforma.
- Resiste las cargas.
- Tanques de carga y descarga en concreto
- Tuberías de concreto se consigue comercialmente.

- Hermeticidad asegurada.

Después de conocer las ventajas y desventajas de estos cuatro tipos de biodigestores y haciendo un análisis sencillo de ventajas y desventajas llegamos a la conclusión de que el biodigestor de concreto es el más viable, ya que si bien es cierto su costo es un poco elevado pero su funcionalidad y su duración nos permite optimizar la inversión obteniendo resultados confiables y sobre todo rentables.

Biodigestor de hormigón.

El reactor es la parte más sensible de la planta de biogás por tal motivo en su construcción se debe tomar algunas medidas de seguridad para evitar problemas futuros.

- La excavación para el reactor puede realizarse manualmente o con maquinaria, debiendo tomar en cuenta que el terreno este firme y no sea pantanoso, en caso de demorarse varios días en la excavación se debe cubrir con plástico, para evitar la entrada de aguas lluvia lo que puede debilitar las paredes de la excavación, esto se hace para evitar deformaciones y caída de los taludes así a construcción será más firme.
- Para la estructura de las paredes se usara malla electro soldada lo que nos permite tener mayor resistencia por  $\text{cm}^2$ , la cubierta de hormigón entre la zona húmeda y la posición de la varilla debe ser mínimo de 5 cm para evitar la corrosión de la varilla.
- Se deberá enlucir las paredes y la loza de la construcción así reforzaremos la estanqueidad del reactor, además de evitar fisuras y agrietamiento de tal forma que no haiga fugas del biogás. Este proceso se debe realizar con las paredes totalmente secas. Y con un espesor no mayor a 12 cm.
- Entre la losa superior y la tapa que también debe ser de hormigón debe haber una junta de caucho o banda flexible que resista la humedad, los cambios de temperatura y la deformación, esta junta es un sello que nos va a permitir mantener la hermeticidad dentro del tanque.

- La tubería de captación del biogás debe formar un solo cuerpo con la tapa fundida, debe tenerse mucho cuidado en la unión de la tapa con la fundición para que no exista fugas de biogás.
- En cuanto a las tuberías de carga de afluente y descarga de biol, estas se deben colocar al mismo tiempo que se funde la estructura, no se permite realizar orificios para el cruce de la tubería después de realizada la fundición, esto impide las fugas de biomasa o biogás.

### 2.6.2 Elección del lugar.

Dentro de las instalaciones de la granja tenemos dos lugares para la construcción de la planta de biogás.

En la parte posterior a la zona de los corrales, terreno contiguo:



**Figura 2.4 Ubicación 1 para la planta**

Ventajas:

- Terreno inutilizado.
- Pozo ya cavado (pozo de agua seco)

- Pozo existente bajo techo.

Desventajas:

- Alejado para el transporte de biomasa
- Dificultad de movilización debido a puertas.
- Alejado para la obtención de agua para mezcla.
- Alejado de la zona de cultivo para aplicación de biol
- Dificultad para el ingreso de maquinaria y materiales de construcción

En la zona de los corrales, prácticamente en el centro de la ubicación de explotación porcina



**Figura 2.5 Ubicación 2 para la planta**

Ventajas:

- Terreno sin usar
- Amplia área para montar el proyecto
- Facilidad de movilización
- Facilidad para acceder a la toma de agua para la mezcla.
- Facilidad para el transporte de biomasa
- Facilidad para el ingreso de maquinaria y materiales de construcción.

- Cercanía a los cultivos para aplicación de biol.

Desventajas:

- Terreno con áreas pantanosas
- Probable impacto visual por la ubicación.

Analizando las ventajas y desventajas de los dos lugares para la construcción de la planta de biogás, se toma la decisión de construir la planta en la segunda zona propuesta.



**Figura 2.6 Ubicación definitiva de la planta**

### **2.6.3 Excavación de la fosa.**

Para la excavación de la fosa se usó una pala mecánica, se cabo bajo tierra 2,4 m de profundidad por 2 m de diámetro, la figura del biodigestor es un cilindro.



**Figura 2.7** Excavación de la fosa.



**Figura 2.8** Excavación de los ductos

#### **2.6.4 Colocación de ductos.**

Con la misma maquinaria se realizó la excavación que contendrá a las tuberías, la inclinación de estas tuberías es de  $45^{\circ}$ , seguidamente se colocó las tuberías, para la tubería de ingreso se usó una tubería de cemento con 30 cm de diámetro, y para la tubería de salida se usó de plástico de 25 cm de diámetro.

### **2.6.5 Construcción del tanque reactor.**

El tanque reactor se lo construirá en concreto con una resistencia de  $250 \text{ kg/cm}^2$ , su forma será cilíndrica y con cúpula para que el gas sea conducido hacia la tubería de captación.

El espesor del hormigón será de 20 cm y en el centro tendrá malla electro soldada para alcanzar la resistencia deseada. El interior del reactor será enlucido liso con un espesor mínimo de 10 mm y pintado con resina para evitar fisuras y moho.

La cúpula se construyó una vez secas las paredes del reactor, se procedió a colocar el molde de madera, tomando en cuenta que la unión de las dos fundiciones se transforme en una y dejando una abertura en la parte superior que es la tapa con un diámetro de 1 m



**Figura 2.9 Tanque reactor**



**Figura 2.10** loza del tanque reactor

#### **2.6.6 Construcción de la tapa.**

La tapa también se la construirá en hormigón armado, para lo cual se realiza el molde con un diámetro de 1m y un espesor de 10 cm, en el centro se le coloca una tubería de pvc de 1/2 pulgada para captación del biogás.



**Figura 2.11** Molde de la tapa



**Figura 2.12 Tapa**

### **2.6.7 Construcción de los tanques de carga y descarga**

El tanque de carga se lo construirá en concreto, estará a nivel del reactor para ello el 50 % estará por debajo del nivel del suelo, con un espesor de loza de 10 cm, estará directamente conectado con el ducto de entrada al reactor, el suelo tendrá un inclinación de 0,5 % hacia la tubería de ingreso, las paredes del tanque son enlucidas con cemento interna y externamente.

El tanque tendrá una tubería tipo alcantarillado de cemento, colocada a  $45^{\circ}$  respecto al nivel del suelo, esta tubería debe tener un diámetro mínimo de 12", y estará a 70 cm del suelo del reactor por la parte interna y al ras de la pared del reactor, se debe colocar primero la tubería y luego realizar la fundición para evitar fisuras o roturas del hormigón.



### **2.13 Tanque de carga**

El tanque de descarga tendrá una tubería de PVC de 10" de diámetro, estará incrustada en la pared del reactor colocada antes de la fundición, sobrepasada de la pared 10 cm de largo y estará a una altura de 50 cm por sobre el piso del reactor, la inclinación será de  $45^{\circ}$  con respecto al nivel del suelo.



**Figura 2.14 Tanque de descarga**

### 2.6.8 Construcción de los medidores de presión.

Debido a las bajas presiones que manejamos se construyeron medidores de presión por columna de agua el cual consta de:

- Una llave de paso.
- Una junta universal
- Manguera transparente
- Unión de PVC
- Vidrio
- Un pedazo de metro
- Agua



Figura 2.15 Medidor de presión por columna de agua.

### 2.6.9 Construcción del gasómetro

El gasómetro fue construido en pvc de 650 micras, este se lo envió a fabricar a una empresa especializada, para que resista nuestro sistema de aumento de presión en la salida del gas por contrapesos.

Se construyó un contenedor para el gasómetro en madera, esto sirve para mantener la forma del mismo cuando se aplique el sistema de contrapesos.



**Figura 2.16 Gasómetro.**

### **2.6.10 Corta llamas**

El corta llamas se lo envió a fabricar en una empresa especializada en fibra de vidrio



**Figura 2.17 Corta llamas**

### **2.6.11 Tuberías de conducción de biogás**

Se usara tubería de PVC con resistencia de 120 psi, suficiente para la conducción de nuestro gas, no se usó tuberías de acero por que el gas está saturado de agua lo cual causa corrosión en este tipo de tubería, se debe tomar en cuenta que la tubería de captación debe ser fundida en la tapa para que forme un solo cuerpo y no exista fugas en la unión, la tubería será de un diámetro de ½” luego se usara una junta universal para aumentar el diámetro de la tubería a 1 ½ pulgadas.



**Figura 2.18 Tubería de conducción de biogás.**

### **2.6.12 Trampas de agua.**

La trampa de agua no es más que una tubería perpendicular a la línea de conducción del biogás, al final de este tubo tiene una tapa herméticamente cerrada para impedir fugas de gas, que cumple con la función de atrapar el agua que se condensa debido a la alta humedad que tiene el biogás, esta trampa de agua se la debe purgar paulatinamente para evitar obstrucción.



**Figura 2.19** Trampa da agua

### **2.6.13 Filtro de H<sub>2</sub>S**

El filtro de ácido sulfhídrico se lo construyo en una Y sanitaria en la línea de conducción del biogás, en su interior tendrá limalla de hierro como material filtrante.



**Figura 2.16** Filtro de H<sub>2</sub>S

#### 2.6.14 Hermeticidad del tanque

La unión de concreto entre la tapa y la base de la cúpula del reactor no nos asegura hermeticidad, al realizar la prueba de hermeticidad nos encontramos con serias dificultades, había filtración de agua, aire y por lo tanto oxígeno, violentando la primera ley de un reactor, su hermeticidad para crear un ambiente anaerobio. Se procedió como se muestra a continuación.

- a. Se deseaba realizar un empaque entre la tapa y su base, la característica de este empaque es adherencia, flexibilidad y maleabilidad para adoptar la forma deseada con el peso de la tapa, resistencia a la humedad y presión.

Una de las opciones era usar caucho líquido o silicón, el silicón comercial se tornó en inútil para el propósito ya que este es un silicón de tipo ácido el cual no se pega al concreto, incluso usando resinas no existe adherencia, por lo tanto se buscó un silicón con pH neutro el cual cumple con nuestras especificaciones.

- b. Se preparó la superficie de la tapa



**Figura 2.20 Preparación de la superficie.**

c. Se colocó la capa de silicón neutro en el área de contacto.



**Figura 2.21 Colocacion de silicón.**

d. Se colocó un vidrio para que el silicón adopte una forma plana.



**Figura 2.22 Alisado de la superficie de silicón**

- e. Se rellenó los espacios con silicón neutro para que el sellado sea perfecto



**Figura 2.23 Relleno de silicón.**

- f. Se preparó la superficie de la base, en esta se utilizó una resina para permitir la unión entre concreto y silicón, debido a la composición del concreto en esta zona.



**Figura 2.24 Preparación de superficie hembra de la tapa**

g. Se colocó silicón en la base de la tapa.



**Figura 2.25** silicón en la hembra de la tapa

h. Se colocó un vidrio para darle planicidad al empaque.



**Figura 2.26** Alisado del silicón en la hembra de la tapa

- i. Se colocó pernos expansivos para aplicar platinas que nos permitan ajustar la tapa



**Figura 2.27** Seguridades en la tapa

## CAPÍTULO III

### APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS

El aprovechamiento del biogás básicamente se remite a su uso como un biocombustible no fósil, lo cual nos permite separar la dependencia del petróleo en cuanto a alternativas en combustibles, su poder calorífico de entre 5 a 7 Kwh/m<sup>3</sup>, o 4700 a 5500 Kcal/m<sup>3</sup>, que depende del contenido de metano que es el elemento combustible que nos interesa dentro del biogás. La temperatura de encendido del biogás es alrededor de los 600 °C y su velocidad de encendido es 2,5m/s, la mezcla con aire oscila entre el 5 y 15%, las características antes mencionadas nos permiten tener una amplia aplicabilidad en diversos equipos, incluso aplicación en vehículos, transporte público y trenes como en países desarrollados.

En América del sur algunos países que han optado por la aplicación de esta tecnología aprovechan el biogás para combustión en cocinas para calentamiento de agua y en ocasiones para calefacción de explotaciones agrícolas por confinamiento. De esta forma se ha limitado el uso de este gas como biocombustible, en países desarrollados esta práctica no se lleva a cabo más bien su mayor aplicación es para generación de energía eléctrica.

En el presente proyecto la aplicación del biogás es para generación de energía eléctrica a través de un motor de combustión interna de 4 tiempos, lo cual nos da la pauta para el estudio de aplicabilidad en vehículos. Es el inicio del estudio del biogás como combustible en el país lo cual nos abre los siguientes frentes de aplicación:

- Motores de combustión interna para aprovechamiento de
  - Energía eléctrica.
  - Energía mecánica (movimiento de bombas de agua, bombas de sólidos)

- Turbinas a gas
- Vehículos motorizados

### 3.1 Preparación del biogás.

El biogás tiene alto contenido de humedad,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ , estos dos gases se los debe tratar para reducir su porcentaje en la composición del biogás para obtener mejor rendimiento como combustible.

#### 3.1.1 Eliminación de humedad.

La humedad es un factor importante a ser eliminado ya que su poder corrosivo afecta a los equipos en los que se usa el biogás acortando su vida y causando daños muy serios. El biogás se encuentra saturado de humedad desde que es producido por la acción bacteriana hasta que llega al equipo consumidor, en su trayecto por las tuberías se realiza la condensación de la humedad motivo por el cual se debe usar un sistema para eliminación de esta agua. En el presente proyecto usaremos dos trampas de agua, la primera ubicada en el trayecto del biodigestor hacia el gasómetro y la segunda en el trayecto del gasómetro hacia el equipo consumidor, se debe tomar en cuenta que las tuberías deben tener una pendiente 0,5%. En el punto de la trampa se usará una T con tapón para poder purgar el sistema.

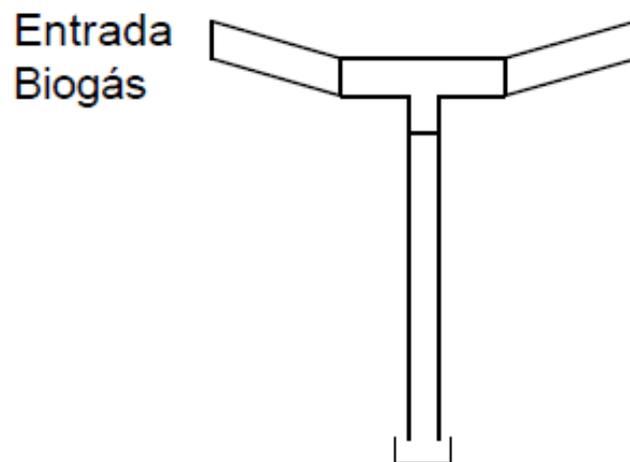


Figura 3.1 Trampa de agua

Según Ibíd. se condensan cerca de 35g de agua por cada m<sup>3</sup> de biogás, hay que conocer que si el biogás no es purificado de este componente los equipos mecánicos como el cigüeñal, pistones y bujías sufrirán daños en ocasiones irreparables. Existen equipos más técnicos en los cuales se hace circular el biogás por un tanque enfriador, donde la temperatura del biogás es disminuida para acelerar el proceso de condensación, esta es una técnica muy eficaz pero por sus altos costos no se aplica en este proyecto.

### **3.1.2 Reducción de CO<sub>2</sub>**

Como se dijo anteriormente la remoción de CO<sub>2</sub> se realiza por cuestiones económicas, ya que se obtiene un gas de mejor calidad con concentración de metano de cerca del 90%, esto aumenta su poder calorífico y como consecuencia el rendimiento térmico y energético aumenta. Uno de los métodos químicos usados para reducir la contaminación por CO<sub>2</sub> es hacer circular el biogás a través de agua con cal, la alcalinidad de este compuesto hace que absorba el CO<sub>2</sub>.

Se conoce además que el CO<sub>2</sub> es soluble en agua, es decir que al lavar el gas en agua ordinaria logramos neutralizar gran porcentaje de este compuesto, por lo tanto en el presente proyecto usaremos un corta llamas que cumplirá dos funciones, seguridad y remoción de CO<sub>2</sub>.

### **3.1.3 Reducción de H<sub>2</sub>S**

Hay varios motivos importantes por los cuales se debe remover el h<sub>2</sub>s del biogás:

- Mal olor, el ácido sulfhídrico es el compuesto que produce mal olor en los sistemas de biogás, un olor a huevo podrido que en altas concentraciones provoca náuseas.
- Toxicidad, el alto poder tóxico de este compuesto causa la muerte cuando es absorbido en cantidades que logra oxidar la sangre causando un paro respiratorio, inmediatamente

de ser absorbido causa irritación en las fosas nasales, ardor en los ojos, mareo, dolor de cabeza y finalmente la muerte.

- Corrosión, oxida las tuberías si son metálicas, los equipos consumidores de biogás son afectados, en nuestro proyecto al no remover el  $H_2S$  nos causaría problemas en el motor de combustión interna, trayendo avería en las válvulas, el cigüeñal, la bujía, agarrotamiento del pistón.

Tenemos dos alternativas para el filtrado del  $H_2S$

**a. Filtro biológico.**

El filtro biológico consiste en ubicar en la línea de biogás un recipiente que contiene turba, que es un producto que crece en los bosques, su obtención no es del todo simple ya que es una especie de musgo silvestre, el  $H_2S$  contenido en el biogás al pasar por el filtro biológico es absorbido por el material filtrante y degradado por microorganismos, poblaciones bacterianas que viven en el material filtrante. Es importante que el material filtrante no forme capas gruesas y compactas, para no contribuir a una caída de presión en la línea del biogás, más bien el material filtrante debe estar holgado para que el paso de biogás sea adecuado a los requerimientos de caudal.

**b. Filtro de limalla de hierro.**

Este tipo de filtro es por reacción química, la limalla al entrar en contacto con el  $H_2S$  produce una reacción que oxida el hierro pasando el biogás totalmente pero quedándose el ácido sulfhídrico. En nuestro proyecto debido a los costos y la cantidad de biogás producido (3 a 4  $m^3$ /día teóricamente) El filtro de limalla de hierro lo haremos en material de PVC específicamente una Y sanitaria de 4 pulgadas de diámetro la cual se conecta a línea de conducción de biogás para entrada y salida y la tercera entrada tendrá un tapón por donde se ingresará o extraerá nuestro filtro. De igual manera debe evitarse taponamientos en la conducción del gas.

### 3.1.4 Calibración de presión.

Es importante la calibración de la presión de suministro del biogás para que los equipos funcionen adecuadamente, en el presente proyecto se tiene algunos datos por ejemplo el motor usado es un motor atmosférico, teóricamente el suministro debe ser a presión atmosférica por lo tanto debemos mantener esa presión de suministro. En la práctica se debe calcular la presión de suministro mediante pruebas.

Para regular la presión en el sistema de almacenamiento de gas (gasómetro), se usará una válvula de seguridad por columna de agua para evitar sobrepresión, cuando se requiera aumentar la presión del gas se usará un sistema de contrapesas sobre el gasómetro que es de un material diseñado especialmente para este sistema. Se usará llaves de paso para regular la presión en las tuberías y el suministro de caudal hacía los consumidores y medidores de presión por columna de agua para regular la presión en todo el sistema.

### 3.1.5 Mezcla aire - biogás.

El aire contiene 21% de oxígeno por volumen, entonces, la mínima cantidad de aire necesaria para la combustión completa del metano es de:

$$\text{—} = 9.5 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ de metano}$$

Dado que el biogás normalmente contiene 60% de metano, la mínima cantidad de aire, necesaria para la combustión completa de éste será:

$$9.5 \times 0.6 = 5.7 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ de biogás}$$

Admitiendo un exceso de aire de 40%, tendremos que:

$$\text{Aire requerido} = 5.7 \times (1 + 0.4)$$

$$\text{Aproximadamente} = 8 \text{ m}^3 \text{ de aire por m}^3 \text{ de biogás}$$

## 3.2 Aprovechamiento en generadores

El biogás puede ser aprovechado como combustible para mover generadores que usan motores de combustión interna como su fuente de rotación. Estos motores pueden usar como combustible gasolina, diesel o glp; por lo general se debe realizar la conversión para

el consumo de biogás, aunque existen motores diseñados para biogás pero estos motores son muy costosos ya que no se encuentran en sud América si no en Europa.

La generación de electricidad en corriente alterna se basa en la Ley de Faraday-Lenz. Cuando existe movimiento relativo entre un conductor eléctrico y un campo magnético (imán) se produce una fuerza electromotriz (fem) que hace circular corriente eléctrica por el conductor. Estos motores pueden basarse en este principio por lo cual se los menciona en el siguiente apartado

El biogás mezclado con aire puede ser quemado en varios equipos o artefactos. El requerimiento potencial para que el biogás se quemara totalmente es de 5,7 m<sup>3</sup> aire por m<sup>3</sup> de biogás. “En la práctica se necesita un excedente de aire de 20 a 30 % adicional para lograr la mezcla de aire – biogás que se puede quemar en los generadores de energía eléctrica.” (Ibíd.).

### **3.2.1 Motores diesel.**

En motores diesel no se puede reemplazar totalmente el combustible debido a la baja capacidad de ignición del biogás, más bien deberíamos trabajar con un motor que consume un combustible mezclado, donde se debe mantener como mínimo un 30% de suministro de diesel y el resto de biogás. Este dato es un dato que varía, en la práctica se deberá ver cual combinación es la que nos ofrece mejor rendimiento para un trabajo óptimo del generador. En estos motores la mezcla de diesel y biogás se realiza directamente en la cámara de combustión del motor. Cuando el motor recibe el biogás por la entrada de aire, este se acelera, por lo que el gobernador de la bomba de inyección reduce la cantidad de diesel suministrado a la cámara de combustión, logrando una estabilidad en la aceleración y potencia del motor. Estos motores soportan las variaciones de carga sin tener que operar la válvula de regulación del biogás, permitiendo operar en un rango más amplio de carga.

Para los arranques del motor se debe alimentar únicamente con diesel, una vez arrancado el motor se realiza la transferencia de biogás gradualmente, hasta alcanzar el 70%. No es

recomendable la sustitución mayor a un 70% de biogás por diesel porque puede dañar el motor.

### **3.2.2 Motor a gasolina**

El motor Otto con consumo de gasolina puede ser transformado totalmente para su consumo de biogás ya que cuenta con una bujía que nos permite alcanzar la ignición, como resultado de esta combustión tenemos la obtención de energía eléctrica e incluso energía calorífica ya que podemos obtener agua caliente usada en la refrigeración del motor para otras aplicaciones, recuperando en su totalidad el poder calorífico del biogás.

Hace aproximadamente un año el país paso por la peor crisis energética de toda la historia, los proyectos energéticos son escasos e insuficientes, sumado a esto actualmente se compra energía eléctrica a Colombia encareciendo los costos, lo cual nos abre una valiosa puerta para la puesta en marcha plantas de biogás para producción de electricidad, este aprovechamiento puede ser sumado a la red pública para venta al estado siendo una solución a un problema del país. Se solicitaría masificar esta tecnología y legislar en favor de este tipo de emprendimientos ya que son proyectos energéticos viables.

La generación de energía eléctrica bordea los 2 Kwh/m<sup>3</sup> de biogás, con una eficiencia del motor de entre el 30 al 35%.

Se debe de tener ciertas consideraciones para que un motor a gasolina, alimentado con biogás opere satisfactoriamente:

- Evitar el paso de gasolina cuando el motor va a operar o está operando con biogás, esto con el fin de evitar un gasto innecesario de combustible. Para lograrlo se debe de colocar una válvula para controlar el paso de la gasolina al carburador.
- Garantizar un suministro de biogás a presión constante.
- El filtro del aire debe de mantenerse limpio para mantener una constante relación entre la mezcla de biogás y aire que nos garantiza una operación estable del motor.

- Colocar una válvula para controlar la admisión del gas al motor.
- Al ser alimentado con biogás, directamente al múltiple de admisión el motor no permite una regulación automática de la mezcla y la carga, por lo que el ajuste del motor se debe de realizar de forma manual desde la válvula de control del biogás, colocada en la línea de admisión.

### **3.2.3 Motores a gas.**

Los motores a gas mecánicamente son idénticos a los motores de combustión a gasolina, la diferencia radica en la admisión del combustible. En los motores a gas, esta admisión se realiza por medio de una válvula que regula la presión con la que se inyecta el gas licuado directamente en el carburador.

Las modificaciones que se deben realizar a este motor para utilizarlo en la generación de electricidad a partir del consumo de biogás, es modificar levemente la presión de inyección del gas, para que se ajuste a las condiciones del biogás. El porcentaje de sustitución de biogás por gas GLP es del 100%. Así, se puede realizar una conexión de la tubería de biogás al sistema, de modo que el equipo pueda operar con ambos combustibles. Por el tipo de sistema de alimentación, estas adaptaciones no permiten una regulación automática de la mezcla y la carga, por lo que el ajuste del motor se debe de realizar de forma manual desde la válvula de control del biogás, colocada en la línea de admisión. Se recomienda que las cargas aplicadas sean constantes, para evitar los problemas de regulación del motor y por tanto una ineficiente calidad de la energía suministrado por el generador.

## **3.3 Generación de energía eléctrica.**

Datos requeridos para el cálculo

- 3.3.1 Producción de biogás en los digestores. Este valor debe ser calculado muy eficazmente y en base a datos confiables. Este valor debe indicar la producción real que se va obtener en la planta de biogás.

3.3.2 Grado de eficiencia total del módulo de generación, incluye eficiencia del motor y generador. Por lo general este porcentaje de eficiencia bordea el 85%.

3.3.3 Porcentaje de gas metano contenido en el biogás. El porcentaje se lo calcula considerando el volumen de biogás que produce cada biomasa y su respectivo % de gas metano. El % de gas metano es de aproximadamente 55-75%.

3.3.4 Grado de eficiencia

**a. Grado de eficiencia del motor**

Es la relación entre la energía mecánica que genera el motor y el contenido de energía del combustible que se utiliza. Algunas veces se equiparará el grado de eficiencia mecánica con el grado de eficiencia eléctrica, lo que no es correcto. El grado de eficiencia mecánica depende del tipo de motor, de su construcción y tamaño. Este grado de eficiencia es aproximadamente 45% para motores de combustión interna tipo Otto y para motores de ignición.

**b. Grado de eficiencia del generador**

En el generador se transforma la energía mecánica que genera el motor en energía eléctrica. El grado de eficiencia eléctrico de generadores está en el orden de 90 a 97% dependiendo de la potencia de la unidad. El resto de la energía se transforma en calor.

**c. Grado de eficiencia térmica**

A parte de la energía mecánica se obtiene también energía térmica. Esta se obtiene a través de los gases de escape, aguas de enfriamiento, radiación de calor, etc. el grado de eficiencia térmica es siempre mayor al grado de eficiencia eléctrica, y depende del tipo de motor y construcción. “Puede alcanzar valores de hasta el 55%” (Enríquez, Gilberto, “El libro

práctico de los generadores, transformadores y motores electrónicos”, 2000). Hasta hace algunos años no se daba mucha importancia al grado de eficiencia térmica, pero actualmente, con los altísimos precios de los combustibles fósiles se está utilizando esa energía para el calentamiento de agua para los sistemas comunitarios de calefacción.

#### **d. Grado de eficiencia total la unidad de generación**

El grado de eficiencia total de generación se lo calcula como la suma de eficiencia eléctrica y térmica. Grado de eficiencia eléctrica = 32% Grado de eficiencia térmica = 53% Grado de eficiencia total de la unidad = 85% Se recomienda considerar los siguientes aspectos para la valoración del grado de eficiencia de los motores de ignición y combustión interna así como de unidades de cogeneración.

Aquí presentamos un cálculo aproximado de la producción tentativa de energía eléctrica con nuestro proyecto, este dato es totalmente teórico y deberá ser confirmado con las pruebas prácticas.

$$E = CH_4 \times E_{\text{específica}} \times \text{eficiencia}$$

E= cantidad de energía eléctrica

CH<sub>4</sub>= Cantidad estimada de biogás producido por día.

E<sub>específica</sub>= eficiencia específica del biogás

Eficiencia= eficiencia del motor.

$$E = 3 \text{ m}^3/\text{día} \times 6 \text{ KW/m}^3 \times 0,33$$

$$E = 5,94 \text{ KW/día.}$$

### **3.3.5 Ventajas del biogás como combustible para generar energía eléctrica**

En comparación con los motores que utilizan combustibles líquidos, el biogás presenta ciertas ventajas, tales como:

- Los motores operan sin detonación previa.

- La mezcla de combustible-aire, es más homogénea, debido a que ambos son gaseosos.
- Hay ausencia de depósitos de carbono en las culatas, debido a una combustión más completa.
- Hay menos necesidad de mantenimiento.
- La vida del motor aumenta.
- Hay menos cantidad de monóxido de carbono en los gases de escape.
- Existe una mejor posibilidad de mantener la rotación de marcha lenta, debido a la quema más uniforme de la mezcla biogás/aire, en el cilindro.

### **3.4 Condiciones de suministro del biogás**

La presión para el correcto uso del gas puede oscilar entre los 2 y los 7 mbar, la relación aire-gas puede ser ajustada aumentando la presión de entrada del aire, incrementando la válvula dosificadora de entrada del combustible o finalmente modificando la geometría de entrada del aire,

#### **3.4.1 Presión y temperatura.**

En el presente caso estamos trabajando con motores atmosféricos por lo tanto en teoría la presión de suministro del gas debería ser 1 atm, en la práctica se realizará las pruebas pertinentes para obtener dicho valor. La temperatura a la que se suministrara el biogás será temperatura ambiente.

#### **3.4.2 Humedad.**

La humedad a la entrada del motor no debe ser mayor al 80%, se debe evitar condensación al interior de motor o que la condensación llegue a entrar en el motor ya que esto dañaría gravemente las partes móviles por oxidación. Una temperatura recomendada en la literatura es de unos 15 °C.

El biogás que sale del digestor está saturado de vapor de agua, a medida que se enfría el vapor se condensa en las cañerías y si no se lo evacua adecuadamente pueden bloquearse los conductos con agua. Por esta razón las cañerías de distribución deben ser instaladas con trampas de agua donde ésta se almacena y se extrae.

## **CAPITULO IV**

### **PLANTA ELÉCTRICA**

Una planta eléctrica es una máquina que mueve un generador de electricidad a través de un motor de combustión interna. Son comúnmente utilizados cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico.

Dos principios físicos relacionados entre sí sirven de base al funcionamiento de los generadores y de los motores. El primero es el principio de la inducción descubierto por el científico e inventor británico Michael Faraday en 1831. Si un conductor se mueve a través de un campo magnético, o si está situado en las proximidades de un circuito de conducción fijo cuya intensidad puede variar, se establece o se induce una corriente en el conductor. El principio opuesto a éste fue observado en 1820 por el físico francés André Marie Ampère. Si una corriente pasaba a través de un conductor dentro de un campo magnético, éste ejercía una fuerza mecánica sobre el conductor.

#### **4.1 Determinación del tipo de planta eléctrica**

El primer parámetro claramente definido en este apartado es la utilización de una planta eléctrica cuyo motor de combustión use gasolina como combustible, en otras las razones por la cual se decide esto es:

- El motor a gasolina puede ser sustituido 100% por biogás.
- Comercialmente son más fáciles de encontrar.
- Son más económicas.

- Se encuentra en mayor diversidad de tamaños.

Motores de combustión interna con gasolina como combustible encontramos de dos tipos:

#### **4.1.1 Motor de dos tiempos.**

El motor de dos tiempos es aquel que necesita un giro del cigüeñal para completar el ciclo, es decir en los primeros  $180^{\circ}$  realiza la admisión y compresión y en los segundos  $180^{\circ}$  realiza la explosión y el escape, una de las desventajas serias de este tipo de motores es que es de cárter seco, que es el depósito de aceite para la lubricación interna del sistema. En este tipo de motores la lubricación se realiza mezclando el aceite con la gasolina, es decir ingresan mezclados al cárter y cámara de combustión, el mezclar aceite con el biogás es una complicación determinante a la hora de tomar en cuenta este tipo de motor ya que presenta el inconveniente de pre mezcla con el aceite debido a que los dos se encuentran en diferentes estados.

#### **4.1.2 Motor de cuatro tiempos.**

El motor de cuatro tiempos es el que usa dos vueltas del cigüeñal para cumplir el ciclo, admisión, compresión, explosión y escape, este motor presenta algunas ventajas frente al de dos tiempos, una de las ventajas es que en este motor la lubricación se realiza con el aceite depositado en el cárter, haciendo que no se necesite una pre mezcla de combustible y lubricante, una de las propiedades del aceite es que es refrigerante, el motor de cuatro tiempo es mejor refrigerado, así se disminuye el desgaste de piezas móviles por ejemplo el pistón del motor de dos tiempo es expuesto a doble esfuerzo en igual número de revoluciones.

Por otro lado la eficiencia térmica de este motor es mayor ya que los gases de escape frescos no son expulsados por el escape inmediatamente. Finalmente la necesidad eléctrica de motor de 4 tiempos es menor, ya que a igual número de revoluciones la bujía se enciende la mitad de veces que el motor de 2 tiempos. Por todas las ventajas presentadas se decide usar una planta eléctrica con motor de 4 tiempos.

## **4.2 Descripción de las partes de la planta eléctrica**

### **4.2.1 Motor**

Es un motor de 4 tiempos con un solo cilindro que funciona como sigue:

- a. Carrera de admisión.- Sirve para introducir una mezcla de aire combustible hacia el interior del cilindro del motor. Se abre la válvula de admisión y penetra la mezcla; la válvula de escape permanece cerrada durante la mayor parte de la carrera.
  
- b. Carrera de compresión.- Sirve para elevar la temperatura de la mezcla. Ambas válvulas están cerradas, la mezcla se comprime al subir el émbolo y la chispa enciende la mezcla cerca del final de la carrera (PMS).
  
- c. Carrera de trabajo.- Cerca del final de la carrera de compresión, salta la chispa y se enciende la mezcla, liberando energía que aumenta la temperatura y la presión de los gases, esta gran expansión de los gases de combustión empujan al émbolo hacia abajo, ambas válvulas están cerradas. Cuando el émbolo está por finalizar su carrera, cerca del (PMI) se abre la válvula de escape.
  
- d. Carrera de escape.- Estando abierta la válvula de escape, el pistón por inercia moviéndose hacia arriba, permite el barrido de los gases

### **4.2.2 Sistema de alimentación.**

La alimentación del combustible se realiza por gravedad, el combustible está contenido en un tanque ubicado en la parte superior de la planta, de este tanque sale una cañería con una llave de paso que conecta al carburador y este a su vez está conectado al cabezote por

donde ingresa la mezcla. La admisión de aire consta de un depurados con un filtro de aire el conducto se une al carburador donde se produce la mezcla e ingresa al cilindro

#### **4.2.3. Sistema de encendido**

El encendido es a través de una bujía que es alimentada eléctricamente desde el generador, a través de un cable de alta tensión, al final de la carrera de compresión se carga eléctricamente la bujía y salta la chispa entre los electrodos, causando la combustión de la mezcla aire-gasolina, y ejerciendo trabajo sobre el pistón.

#### **4.2.4 Sistema de arranque**

El encendido de la planta eléctrica es manual, posee una soga envuelta en el cigüeñal del motor, esta posee una manija para facilitar la manipulación. Una vez la planta se esté alimentando de combustible, se debe jalar la tiradera con fuerza moderada para que el motor alcance las rpm necesarios para encenderse

#### **4.2.5 Lubricación.**

La lubricación se realiza por el movimiento del cigüeñal dentro del cárter que está lleno de aceite para motor 20w50, el aceite es agitado bruscamente y se esparce por toda el área necesaria para lubricar.

#### **4.2.6 Refrigeración.**

La refrigeración es únicamente por aire, la camisa del pistón tiene intercambiadores de calor tipo paletas, por este motivo se debe la planta debe estar en lugares ventilados.

### **4.3 Funcionamiento general del sistema**

#### **4.3.1 Precauciones.**

a. Nunca opere la maquina en un lugar cerrado, esto podría causar inconsciencia y la muerte en poco tiempo, opere el sistema en áreas ventiladas.

- b. Siempre apague el motor para recargar el combustible, por ningún motivo llene el tanque de combustible con el motor encendido.
- c. Si por algún motivo inhala el vapor de la gasolina o salpica combustible a los ojos vaya inmediatamente al doctor
- d. Si salpica combustible a su ropa, lave inmediatamente o reemplace la ropa.
- e. Ubique el generador en un lugar fuera del alcance de los niños y animales.
- f. no ponga materiales inflamables cerca de la planta cuando esta se encuentra funcionando
- g. nunca opere el sistema cuando está lloviendo y cayendo rayos.

#### 4.4 Características técnicas del motor.

Tabla IV.1 Especificaciones técnicas de la planta eléctrica

Potencia	1,48 Kw / 3000; 1.7 Kw / 3600 rpm
Relación de compresión	7,8 : 1
Cilindrada	87 cm <sup>3</sup>
Carrera	54 mm
Diámetro cilindro	38 mm
Rpm del motor	3600 ± 100 rpm
Torque máximo	3,98 Nm
Lubricante	SAE 20W50
Capacidad del tanque	4,7 L
Capacidad del Carter	0,4 L

## 4.5 Adaptación del carburador del motor de combustión interna de la planta para consumir biogás

El motor de la planta eléctrica viene con un carburador diseñado para para el consumo de gasolina, en nuestro proyecto necesitamos un mezclador de gases para que este motor funcione óptimamente con biogás.

### 4.4.1 Diámetro de entrada de aire del cuerpo del carburador.

Dónde:

D = diámetro del carburador en mm

N = número de revoluciones máximas del motor rpm

C = cilindrada unitaria en cc.

### 4.4.2 Cantidad de aire

m \_\_\_\_\_

Dónde:

$m_{\text{aire}}$  = flujo másico de aire

= densidad de aire

N = régimen de ralentí

= cilindrada del motor

$n_v$  = eficiencia volumétrica

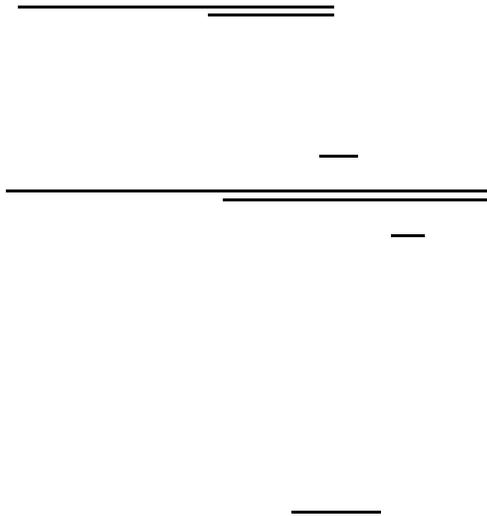
i = número de cilindros

m \_\_\_\_\_



$e_f$  = peso específico del combustible ( $0,951 \text{ kg/m}^3$ ) calcular  
= depresión manométrica. (64 cm h<sub>2</sub>o)

Despejando



#### **4.5 Circuito de alimentación de gas metano hacia la planta eléctrica.**

Hay que tomar en cuenta algunos elementos dentro de este circuito que son de importancia para suministrar el biogás a la planta como combustible.

##### **4.5.1 Elementos dentro del circuito.**

- a. Tubería de conducción
- b. Llave de paso.
- c. corta llama.
- d. trampa de agua.
- e. filtro de ácido sulfhídrico.

- f. medidor de presión
- g. Reducción de diámetro de suministro
- h. Medidor de caudal de biogás

#### **4.5.2 Funcionamiento general del sistema.**

Una vez se aplica peso al gasómetro, a través del sistema de contrapesas, se aumenta la presión del gas, se cierra la llave de paso de ½” que es la de entrada y se abre la llave de paso de 1” que es la tubería de salida, el biogás empieza a circular por esta tubería hasta llegar al corta llamas donde entra por la tubería sumergida en agua 3 cm, el gas logra vencer la resistencia del agua y vuelve a salir a la superficie y sale por la segunda tubería de captación del corta llamas, al continuar por la tubería el biogás se encuentra con una T donde el agua que se condensa cae en la trampa de agua que es un tubo perpendicular que tiene una llave de paso para el purgado del sistema, seguido el gas debe pasar por el filtro de ácido sulfhídrico para ser purificado, las partículas de este gas son atrapadas en el medio filtrante oxidando la limalla de hierro, finalmente el biogás pasa por el medidor de caudal de biogás y por los reductores de diámetro hasta ingresar por la tubería que tiene el diámetro diseñado para el suministro de gas a la planta donde es combustionado.

#### **4.6 Cantidad de energía eléctrica vs cantidad de biogás.**

Dónde:

$\eta$  (motor) = eficiencia del motor

$P_e$  = potencia en el eje.

$E_c$  = energía del combustible.

Despejando:

$$P_e = n t(\text{motor}) \times E_c.$$

---

Dónde:

$n(\text{generador})$  = eficiencia del generador

$E_e$  = energía eléctrica de salida

$P_e$  = potencia en el eje

Despejando:

---

Igualando y despejando obtenemos:

---

Para saber la energía eléctrica de salida se determina así:

Se posee una planta eléctrica de 1 kW, la cual se desea que trabaje 4 horas al día

Dónde:

$P_p$  = potencia de la planta

$h_t$  = horas de trabajo al día

Además se conoce la eficiencia del motor y del generador:

$$n(\text{motor}) = 30\%$$

$$n(\text{generador}) = 70\%$$

Aplicando datos:

$$\frac{\quad}{\quad}$$

La equivalencia de 1 Kwh es:

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

Por lo tanto:

$$\frac{\quad}{\quad}$$

El poder calorífico del biogás es 4500 Kcal/m<sup>3</sup> (poder calorífico inferior).

Finalmente:

$$\frac{\quad}{\quad}$$

Dónde:

V<sub>g</sub> = volumen de gas

$$\frac{\quad}{\quad}$$

# **CAPÍTULO V**

## **MANUAL DE MANEJO DEL BIODIGESTOR.**

El manual de manejo del biodigestor consiste en información sobre el arranque que implica la puesta en marcha desde el primer día hasta alcanzar la estabilidad microbiana, manejo diario e información de los componentes para un correcto funcionamiento y mantenimiento de la planta de biogás. Las personas que lean la presente información y los propietarios de granjas donde se desarrolle plantas de biogás deben entender que depende del manejo diario el éxito o fracaso del proyecto.

No podemos tomar livianamente esta parte de la información, la mayoría de gente cree que esta tecnología es cuestión de enterrar estiércol y obtener dinero, para desmentir esta creencia, debemos comprender que dentro del reactor hay poblaciones microbianas, organismos vivos que necesitan las condiciones adecuadas para su correcto funcionamiento. Una buena operación diaria asegura ahorro en costos de operación por mantenimiento o reparación de equipos o partes de la planta de biogás, por lo tanto se recomienda seguir las indicaciones dadas en este capítulo.

### **5.1 Puesta en marcha**

La puesta en marcha representa el inicio de operación de la planta de biogás, hay que saber que no vamos a obtener biogás inmediatamente más bien la fase de puesta en marcha implica causar el desarrollo de las bacteria que intervienen a lo largo del proceso anaeróbico y su proliferación, para ello hay que manejar parámetros adecuados y controlar el desarrollo de las poblaciones microbianas.

Como primer paso se aseguró que el concreto usado estaba totalmente seco para no causar desprendimiento de material y daños irreparables.

Se hace el llenado total del reactor con agua limpia, para ello se debe estar seguro que esta agua no contiene cloro ni otro tipo de componentes químicos que obstaculicen el crecimiento bacteriano, en este caso para asegurar agua purificada se usó agua de riego, del canal de riego que pasa por la granja.

Para el llenado del reactor con agua se debe abrir la llave de paso ubicada en la tubería de captación del biogás para que salga todo el aire contenido en el interior, ya que si permanece cerrada la presión aumentara rápidamente y podemos tener daños en el sello de hermeticidad de silicón neutro, una vez llenado el reactor se verifica la estanqueidad y hermeticidad del tanque, factores fundamentales en el éxito del proyecto. Comprobados estos parámetros empezamos con la carga diaria, para iniciar con la carga se debe inocular materia orgánica fresca, esta no debe estar en estado de descomposición ni podrida para no ingresar microorganismos extraños al proceso metanogénico.

No se cargará la biomasa con el parámetro calculado para la carga diaria, en este proyecto se alcanzará ese parámetro en treinta días, es decir se cargará al biodigestor diariamente de manera progresiva con poca materia orgánica, día a día se incrementara la carga de acuerdo a la bitácora programada para este fin, hasta llegar al día treinta donde se cargará la cantidad para la que fue diseñada la planta de biogás y en adelante su carga será normal según el parámetro calculado, con esta estrategia se busca que las bacterias puedan proliferarse de forma segura y rápida, así para no empachar el sistema.

“Los rangos iniciales de la COV (carga orgánica volumétrica) deben ser de 0,3 – 0,7 kg/m<sup>3</sup>” (Carless, J. “Renewable Energy: A concise Guide to Green Alternatives”, 1995). Si se alimenta el digestor inicialmente con una COV elevada, este puede pasar a una fase de saturación, en donde no se desarrollan las bacterias que producen biogás.

Conocemos que las bacterias se desarrollan de mejor forma en temperaturas elevadas, este aumento de temperatura es otra de las alternativas que se usarán para alcanzar este equilibrio energético y biológico, se incrementará el agua de la mezcla a 60 °C pasando un día durante el periodo en que buscamos el balance, este consumo energético será a través de GLP, con esta decisión de funcionamiento buscamos elevar en por lo menos 2 °C el interior del reactor.

Una vez alcanzado el equilibrio energético se debe empezar a realizar pruebas para conocer si el gas que se está produciendo es biogás con alto contenido de metano o no, esta prueba se limita únicamente a la inflamabilidad del gas. En nuestro caso a los treinta días no se ha alcanzado el TRH debido a eso el gas obtenido no se inflamo, al día 43 las pruebas de inflamabilidad dieron positivo, alcanzando el equilibrio buscado para producción de biogás de buena calidad, este proceso de estabilización de los biodigestores puede durar entre 6 y 10 semanas, tiempo en el cual la producción con alto contenido de metano se torna normal. Un indicador de buen arranque del sistema es el aumento paulatino de la cantidad de biogás producido, si la producción no aumenta paulatinamente y se estanca en un indicador de inhibición del proceso, se debe tomar las acciones correctivas necesarias para estos problemas. Al cumplir el TRH se debe permitir que el biogás existente salga al ambiente, después de esta maniobra se puede empezar a almacenar el biogás o aplicarlo en los equipos de generación.

## **5.2 Manejo diario**

- La operación diaria del biodigestor en nuestro proyecto comienza con la recolección de la biomasa desde los corrales de confinamiento, como regla importante en este proyecto es que se utilizará biomasa fresca y sin combinación con ningún otro tipo de biomasa ni con aguas de lavado, la biomasa fresca nos asegura una buena producción de biogás. La biomasa que está en proceso de descomposición aeróbica, esto quiere decir materia orgánica guardada, se torna acida lo cual puede detener el proceso de producción de biogás e incluso dañar irreversiblemente las poblaciones bacterianas ya existentes. Los cambios bruscos de biomasa también afectan negativamente el

funcionamiento del ciclo metanogénico por tanto debe evitarse cambiar o combinar drásticamente.

- Una vez recogido el estiércol en baldes se traslada al tanque de mezcla ubicado cerca del biodigestor.
- De la misma manera se carga con el agua necesaria el tanque de mezcla para empezar con la homogenización de la biomasa.
- Se procede a homogenizar la masa, esto es diluir la masa seca en agua hasta alcanzar una dilución del 10%, la dilución se la realiza manualmente con un mezclador metálico hecho para el efecto, lo recomendable, en términos genéricos, es primero mezclar un balde de estiércol con dos de agua y proceder a la homogenización hasta obtener una mezcla pastosa sin contenido de sólidos grandes, ya que esto ayuda a la digestión anaeróbica, las bacterias pueden distribuirse por todo el sustrato y comenzar la acción digestiva, también nos ayuda para no formar una costra en la superficie que retiene el biogás, finalmente contribuye para tener un mejor mezclado con fluido existente en el reactor.
- El sustrato se carga en el reactor e inmediatamente
- Se procede a realizar la agitación, consiste en introducir el embolo construido para este efecto por el tanque de carga y se realiza la acción de empujar y halar, esto causa turbulencia en el sustrato, la agitación contribuye para la mezcla del afluente diario con el sustrato contenido, rompe la costra que se forma en la superficie, hace que las bacterias se distribuyan por todo el reactor de forma homogénea y que las partículas de biogás se rompan y salgan a la superficie, el mismo procedimiento se realiza por el tanque de descarga y con el émbolo fabricado para el efecto, la agitación se debe realizar por lo menos 10 minutos por cada lado.
- Mientras se agita, por la tubería de descarga, procedemos a tomar las medidas obligatorias diarias esto es tomar los datos de temperatura y pH, indicadores importantes del trabajo bacteriano. El termómetro está instalado en una extensión de madera que nos permite introducir la sonda al interior del sustrato. Para medir el pH usamos papel (ojo), para cada día se usa una tira de papel, esta se la coloca junto a la sonda del termómetro, se introduce estos dos elementos en el sustrato.

- Una vez terminada la agitación e introducido los medidores se procede a extraer el biol por el tanque de descarga, el biol extraído se lo almacena en los respectivos tanques de almacenamiento para su posterior aplicación, venta o tratamiento si es el caso.
- Procedemos a tomar la presión en los dos medidores de presión instalados en los conductos de biogás, uno a la salida del biodigestor y otro a la salida del gasómetro para lo cual abro la junta universal para encerrar el medidor de presión y vuelvo a conectar la junta, paso seguido abro la llave de paso y tomo esta medida, el mismo procedimiento para el medidor de presión del gasómetro. Si la presión en el biodigestor es mayor a 3 cm de columna de agua abrimos la llave de paso para que el biogás sea conducido al gasómetro, si la presión después del gasómetro es mayor a 3 cm de columna de agua procedemos a prender el biogás para ser quemado a través de la tubería de quemado fabricada para esta función.
- Una vez terminados estos procedimientos extraemos la extensión y tomamos las mediciones y anotamos los datos en la bitácora de control diaria, la bitácora de control diario nos indicara el funcionamiento máximo de la planta de biogás con este antecedente podemos detectar cuando la planta empieza a tener mal funcionamiento.

**Tabla V.1 Bitácora de carga**

	DI A		CARGA		TEMP. CARGA		TEMP.DI GESTOR	OBSERVACIONE S
Día		fecha	carga en lb	agua en lt	<sup>o</sup> C	PH		
jueves	1	17						
viernes	2	18	15	13	15	7	17	
sábado	3	19	15	13	50	7	19	
domingo	4	20	15	13	16	7	17	
lunes	5	21	20	20	45	7	19	
martes	6	22	20	20	15	7	18	
Miércoles	7	23	20	20	40	7	19	
jueves	8	24	20	20	15	7	18	
viernes	9	25	25	30	36	7	19	
sábado	10	26	25	30	16	7	18	
domingo	11	27	25	30	35	7	18	
lunes	12	28	30	40	15	7	18	

## **5.3 Mantenimiento**

### **5.3.1 Diario**

El mantenimiento diario de la planta de biogás no es una carga ni laboral ni económica para el propietario del proyecto, un buen manejo diario de la planta trae como consecuencia un mantenimiento diario mínimo a continuación se enumera los pasos a seguir:

- a. Revisar la correcta colocación de la cerca para impedir la entrada de animales a la zona de la planta de biogás.
- b. Eliminar la basura que pueda haber en los límites internos de la planta de biogás.
- c. Quitar de las tuberías la basura, posibles pedazos de hierba u otros desechos.
- d. Cargar la nueva biomasa.
- e. Realizar agitación por lo menos 3 veces al día, durante 10 minutos, en las dos tuberías.
- f. Verificar los dos niveles de presión.
- g. Inspeccionar el gasómetro, por posibles objetos punzantes o fisuras en la membrana.
- h. Tomar medidas de los parámetros diarios.
- i. Llenar los datos en la bitácora de control diario.
- j. Verificar que la tubería de carga del sustrato quede limpia.
- k. Constatar que las cubiertas de los tanques de carga y descarga estén colocadas correctamente.

### **5.3.2 Semanal.**

Cada semana se debe:

- a. Inspeccionar toda la tubería de conducción de biogás, las uniones, juntas, tés, para prevenir fugas en las juntas de unión, para fugas menores se puede sellar temporalmente con pega para PVC, cuando la fisura es mayor inmediatamente se debe proceder a reemplazar las piezas.
- b. Inspeccionar minuciosamente el gasómetro para encontrar posibles fisuras en la membrana.
- c. Revisar el nivel de agua en el corta llamas, mantenerlo en el nivel adecuado.

- d. Verificar el sello de silicón neutro en la unión del reactor con la tapa.
- e. Verificar el nivel de agua en la válvula de seguridad de sobrepresión del gasómetro.
- f. Purgar el sistema de tuberías donde se ha instalado las trampas de agua.

#### **5.3.3 Mensual:**

- a. Cortar el pasto en la zona de la planta de biogás.
- b. Verificar el filtro de remoción de  $H_2S$ .
- c. Verificar el equipo electromecánico.
- d. Realizar el mantenimiento de la planta eléctrica, cambio de aceite del cárter, cambio del filtro de aire.

#### **5.3.4 Anual:**

- a. Extracción de lodos, esto implica la extracción total del sustrato que está dentro del digestor y limpieza total del mismo.

### **5.4 Corrección de problemas.**

a. Cuando los niveles de pH se encuentran por debajo del neutro se debe tomar correctivos inmediatamente ya que este es un indicador de mal funcionamiento de las poblaciones bacterianas, una de las medidas es disminuir la COV, esta acción evita que el reactor se empache y colapse definitivamente, por tal motivo se debe tomar el valor de pH diariamente, esto nos permite tomar acciones correctivas a tiempo, cuando el nivel de pH disminuye nos indica que hay exceso de biomasa que no está siendo digerida correctamente, al disminuir la COV estamos disminuyendo la carga de materia orgánica y finalmente permitiendo que toda la biomasa sea consumida, cuando disminuimos la alimentación del digestor empezaremos a mirar como el nivel de pH aumenta paulatinamente una vez alcanzada la estabilidad empezamos a aumentar la COV paulatinamente hasta volver a la carga.

b. En el tanque de descarga el efluente es bastante sólido, cuando se presenta este problema se tiene dos posibilidades, la agitación es incorrecta, se realiza solo por un sector del tanque reactor, la corrección que se debe tomar es realizar una agitación efectiva, si la agitación es manual se debe prever que esta agitación se realice por el tanque de carga y descarga para que todo el sustrato sea homogéneo y la degradación de la materia orgánica sea total, otra de las posibilidades es que se está cargando demasiada materia orgánica la población bacteriana no alcanza a digerir por completo el estiércol, esta falla viene acompañada de disminución en el valor del pH, para corregir este fenómeno se debe disminuir la carga para permitir que las bacterias se multipliquen y puedan ser las suficientes para consumir toda la carga diaria.

c. La producción de biogás es notablemente menor, esto ocurre por varias causas, si miramos que el gasómetro no tiene el volumen normal, lo primero que se debe realizar es una inspección minuciosa del gasómetro en busca de posibles fisuras, si existe esta fisura se debe parchar inmediatamente, el siguiente paso a seguir es buscar fisuras en las tuberías o fugas en las uniones, codos u otros accesorios usados para conducir el biogás si este es el caso se debe reemplazar inmediatamente, las siguientes razones para la disminución de la producción del biogás tiene que ver con el comportamiento de las bacterias en el interior del reactor, se debe medir la temperatura interna del reactor y compararla con la bitácora, si esta es menor implica que la actividad bacteriana está cesando para corregir se debe inocular la carga orgánica volumétrica a mayor temperatura aproximadamente unos 25 °C, para que las bacterias cesen su trabajo deben estar muriendo paulatinamente, esto es un problema grave, una de las causas es que los animales estén siendo vacunados y estos antibióticos estén saliendo en el estiércol lo cual es un inhibidor del proceso, la corrección es no cargar el estiércol de corral donde estén los animales vacunados, finalmente otra de las causas de muerte de las bacterias es que esté ingresando al reactor oxígeno por falta de hermeticidad del tanque, se debe buscar la fuga y corregirla inmediatamente, sabiendo que las bacterias sobreviven únicamente en un ambiente estrictamente anaeróbico

c. Disminución en el nivel del sustrato, esto se produce únicamente por fisuras en la loza, se debe vaciar completamente el reactor, limpiar y realizar una prueba de estanqueidad con agua limpia, hay que tener bastante cuidado de revisar la unión entre la losa y las tuberías de carga y descarga puntos focales para fisuras, una vez encontrada la fisura se procede a corregirla.

d. Fallas en el equipo electromecánico, para mantenimiento y fallas de estos equipos se debe llamar a gente especializada.

e. La presión del gas es variable, la presión del gas puede variar por obstrucción en las tuberías, hay que revisar las trampas de agua par que no estén saturadas, se debe revisar el filtro de h<sub>2</sub>s cuando el filtro ha cumplido su vida útil puede obstruir el paso de gas, cambiar el material filtrante, revisar las válvulas de seguridad que tengan el agua suficiente para que no deje escapar, de igual forma revisar los medidores de presión por columna de agua que tenga el elemento liquido adecuado para no permitir fugas de gas.

## **5.5 Normas de seguridad**

Las normas de seguridad en la planta de biogás tienen como finalidad proteger la vida de las personas y evitar daños materiales tanto en la planta como en las instalaciones que contienen al proyecto, es importante conocer estas normas para precautelar la salud, conociendo que manejar desechos orgánicos, como estiércol principalmente, tiene grandes cantidades de organismos patógenos que producen enfermedades al ser humano y a la población del ganado que se explota en la granja.

En cuanto a los daños materiales corremos un mínimo riesgo de explosión ya que estamos trabajando en la producción de un combustible por lo tanto hay que manejar algunas normas básicas como precaución.

Finalmente se debe saber que el biogás es un gas que puede tornarse toxico por algunos elementos que este contiene, debemos precautelar sobre todo la vida humana.

### 5.5.1 Nociones sobre gases.

#### a. Inflamabilidad.

Los gases inflamables pueden inflamarse en una cierta proporción en combinación con el aire u otras sustancias oxidantes. Es extremadamente importante para el sistema que no existan fugas. En especial, deberían implantarse las medidas de protección contra explosiones. Todas las sustancias fácilmente inflamables deberían retirarse de las zonas susceptibles de generar un foco de incendio.

Los parámetros cuantitativos más destacables de la inflamabilidad en gases son los siguientes:

- **Límite inferior de inflamabilidad:** Concentración mínima de gas inflamable en mezcla con el aire, por debajo de la cual no se produce la ignición (mezcla pobre).
- **Límite superior de inflamabilidad:** Concentración máxima de gas inflamable en mezcla con el aire, por encima de la cual no se produce la ignición (mezcla rica).
- **Temperatura de autoignición:** Mínima temperatura requerida para iniciar o dar lugar una combustión automantenida, independientemente de la presencia de un foco de ignición.
- **Energía de ignición:** Energía mínima necesaria para la ignición de la mezcla gas inflamable-aire.

#### b. Toxicidad

Hay dos clases de parámetros en la toxicidad que es necesario evaluar separadamente. Unos son los límites de concentración y otros los criterios de toxicidad.

- **Límites de Concentración**

Su fin es garantizar que una persona expuesta a dichas concentraciones en unas condiciones determinadas no sufra un daño concreto en su salud.

Los parámetros más utilizados son los siguientes:

**Concentración Máxima Permisible (CMP):** Son las concentraciones máximas de gases en el área de trabajo, que no deben sobrepasarse durante la jornada laboral de 8 h. y a lo largo de toda la vida activa del trabajador.

**Límites IPVS (Inmediatamente Peligrosa para la Vida o la Salud):** Es la máxima concentración de gas a la que puede estar expuesto un sujeto durante 30 min. sin que se produzcan síntomas graves ni efectos irreversibles para la salud. El resultado se expresa en mg/m<sup>3</sup> de aire o en ppm.

**Límites de Exposición Permisible (PEL):** Son las concentraciones de gases en el aire por debajo de las cuales la mayoría de los trabajadores pueden exponerse sin sufrir efectos adversos para su salud.

#### **c. Oxidación**

Los gases oxidantes soportan la combustión pero no son inflamables por sí mismos.

#### **d. Corrosión**

Los gases corrosivos atacan muchos materiales especialmente metales y queman la piel así como muchas membranas mucosas. Los gases tóxicos pueden dañar seriamente o incluso matar seres humanos si se inhalan o absorben a través de la piel. Es preciso un cuidado extremo al manejar gases tóxicos o mezclas que los contengan. Las personas encargadas de su manejo deberían ser convenientemente formadas. La prioridad número uno es la no existencia de fugas en la planta.

#### **e. Contaminantes**

Los gases peligrosos para el medio ambiente pueden dañar la capa de ozono, agravar el calentamiento global o contaminar el agua.

**f. Cancerígenos.**

Los gases clasificados como cancerígenos pueden causar daños a largo plazo en los seres humanos.

**5.5.2 Normas para salud**

Los operarios de plantas de biogás deben usar ropa adecuada para el trabajo diario esto los aislara de cualquier contacto con el estiércol y con los organismos patógenos que derivan en enfermedades esta ropa es:

- a. Botas de caucho
- b. Pantalón
- c. Camisa manga larga o saco.
- d. Guantes de caucho, para las dos manos.

Cuando se vaya a vaciar el biodigestor y una persona tenga que entrar al reactor para cumplir con ese propósito se debe usar ropa hermética

- e. Botas largas
- f. Pantalón hermético por fuera de las botas
- g. Chompa hermética en la cual viene incluida una capucha también de material hermético
- h. Guantes de caucho

En cuanto al sistema respiratorio se debe proteger con una mascarilla que cubra la nariz y la boca, es importante para no absorber los olores nauseabundos del estiércol y por otro lado cuando se realiza la mezcla o la carga puede salpicar el sustrato que podría ser ingerido, los ojos deben ser protegidos con unas gafas de seguridad para evitar que el sustrato salpique e irrite estos órganos.

**5.5.3 Normas para proteger la vida.**

- a. Por ningún motivo se debe ingerir biogás a través del sistema respiratorio, si existen fugas de biogás en lugares cerrados se debe permitir la ventilación del lugar antes de entrar, permanecer por algunos minutos en lugares donde hay fugas de biogás puede causar la muerte por asfixia o ahogamiento.

- b. Cuando se trabaje cerca del biogás se debe usar mascarilla para protección del sistema respiratorio.

#### **5.5.4 Normas para el manejo diario.**

- a. Usar los materiales, herramientas y equipos de forma adecuada.
- b. Tener cuidado de no caerse en el tanque de carga o descarga.
- c. No arrimarse a las tuberías para evitar rupturas.
- d. Manipular correctamente el gasómetro así evitamos rupturas del mismo, quitar cualquier material cortante que este cerca del gasómetro.
- e. Cuando se trabaja cerca de la planta de biogás, no tener en los bolsillos equipos celulares o cámaras, ya que por malas maniobras éstas pueden caer en los tanques de carga o descarga, también en las válvulas de sobrepresión.
- f. Usar el equipo de protección industrial sugerido.

#### **5.5.5 Normas sobre riesgos de explosiones**

- a. No fumar cerca de la planta de biogás, ya que al existir fugas de gas y mezclarse con oxígeno en una proporción de entre el 5 y 12 % podríamos ocasionar una explosión con considerables daños materiales.
- b. Revisar que el nivel de agua del corta llamas se encuentre en el nivel adecuado así evitaremos que se cause una explosión mayor.
- c. Evitar que niños jueguen cerca de la planta de biogás.
- d. Evitar hacer fogatas o quemar basura cerca de la planta de biogás, cualquier llama o chispa que llegue a los 600 °C puede ocasionar explosión si tenemos fugas de biogás.
- e. Si se usa gas en el interior de alguna edificación se debe asegurar que no haya fugas ni de gas ni de electricidad.
- f. Cuando se va a prender por primera vez el biogás producido, se debe purgar el sistema, es decir dejar escapar un buen volumen de gas ya que puede estar mezclado con el oxígeno que queda dentro del reactor o dentro del gasómetro y el riesgo de explosión incrementa.

#### **5.5.6 Normas varias.**

- a. Se deberá capacitar a los trabajadores sobre los peligros de los gases que están manejando
- b. Los trabajadores deberán utilizar el equipo de protección personal y otros controles de seguridad requeridos para el manejo de la planta.
- c. El listado de los números de teléfonos de emergencia deberá estar localizado en un lugar visible.

#### **5.5.7 En caso de accidente**

- a. La inhalación de gases inertes puede producir somnolencia o incluso una parada respiratoria. Facilite inmediatamente a la persona afectada aire fresco y, si es necesario, respiración artificial. Al aire fresco, la persona afectada debería permanecer abrigada y en un ambiente tranquilo.
- b. Si un gas corrosivo entra en contacto con la piel o los ojos, lave inmediatamente la zona afectada con agua abundante durante al menos 15 minutos.
- c. En caso de incendio use el extinguidor, agua o tierra, si existe riesgo de explosión aléjese inmediatamente, retire cualquier cilindro de gas que aumente el peligro.

#### **5.5.8 Zonas de riesgo.**

A continuación se define las zonas de riesgo existentes en una planta de biogás, para tomar las medidas de seguridad necesaria



Figura 5.1 zonas de riesgo.

a. Zona de riesgo 0



Figura 5.2 Zona de riesgo 0, reactor

# CAPÍTULO 6

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 6.1 Conclusiones

- ✓ La tecnología del biogás es relativamente nueva en nuestro país, por este motivo es muy complejo encontrar información técnica confiable para la aplicación en el diseño y construcción de plantas de biogás.
- ✓ La información técnica para el diseño y construcción de la planta de biogás aquí citada es confiable ya que cada dato se ha verificado a través del correcto funcionamiento práctico de dicho contenido.
- ✓ En el presente proyecto se ha realizado una inversión total de seis mil dólares americanos, con un retorno de la inversión de cuatrocientos dólares mensuales, por concepto de reemplazo de GLP industrial para los calentadores térmicos de las maternidades en la granja.
- ✓ La introducción del biol como abono orgánico es una de las alternativas comerciales que pueden potencializar la construcción de biodigestores y ayudar a recuperar la inversión incluso hasta en un año lo cual lo transforma en una alternativa altamente rentable.

- ✓ Se ha logrado reducir el grado de contaminación ambiental en la granja a través del tratamiento anaeróbico en el biodigestor, valorizando el estiércol de cerdo con obtención de productos como el biogás y el biol
- ✓ Nuestro biodigestor, con volumen líquido de 9 m<sup>3</sup>, genera aproximadamente 3 m<sup>3</sup> de biogás por día, con un contenido de metano del 52%.
- ✓ El porcentaje de metano contenido en el biogás influye directamente en la eficiencia del motor de combustión interna y por lo tanto en la generación de energía eléctrica. La planta eléctrica cuando opera con biogás trabaja con un 60% de eficiencia.
- ✓ El motor de combustión interna a gasolina de cuatro tiempos es el tipo de motor más fácil de ser convertido a biogás, el mismo carburador puede ser usado como un mezclador de gases a través de una pequeña perforación con diámetro de acuerdo a los cálculos de cada motor.
- ✓ Para el aprovechamiento del biogás se ha reducido el % de H<sub>2</sub>S a través de un filtro de limalla de hierro y como seguridad se ha implementado un corta llamas el cual extingue el fuego en caso que se regrese por las tuberías.
- ✓ La tecnología del biogás y la construcción de plantas de biogás es totalmente factible en nuestro país, con la masificación de este tipo de tecnología se puede obtener beneficios económicos y ambientales que favorecen al común de la sociedad, con la creación de fuentes de empleo y reducción de la contaminación respectivamente, para lograr esta masificación se debería crear leyes que incentiven a optar por este tipo de tecnología.
- ✓ El biogás es un combustible alternativo renovable cuya fuente de producción es inagotable, lo cual lo convierte en un biocombustible altamente viable en la aplicación de motores de combustión interna para diversos fines.

## **6.2 Recomendaciones.**

- ✓ Antes de la puesta en marcha del biodigestor es indispensable revisar algunos parámetros como, estanqueidad del tanque reactor, este no debe tener fisuras de loza o en las uniones entre loza y tuberías, hermeticidad del tanque, se debe verificar exhaustivamente que no exista ingresos de oxígeno o fugas de biogás.
- ✓ La puesta en marcha del biodigestor es de suma importancia, se debe aumentar paulatinamente la COV, hasta alcanzar la estabilidad bacteriana dentro del reactor y el nivel de carga diaria para el que se diseñó, esto nos asegura un buen desarrollo de las bacterias para que el proceso de digestión anaeróbica pueda efectuarse completamente.
- ✓ La planta de biogás debe ser operada por una persona capacitada técnicamente para el efecto, la manipulación indebida de la planta puede causar problemas graves, llegando incluso a dañar el sistema tanto que las poblaciones bacterianas dentro del reactor pueden morir y cesar totalmente la producción de biogás.
- ✓ Se debe llevar un registro diario, llamado “bitácora de carga”, de la cantidad de estiércol y aguas ingresadas, temperatura y pH ya que estos son indicadores del proceso dentro del reactor.
- ✓ Es de suma importancia controlar el nivel de agua tanto de la válvula de seguridad, como del corta llamas, estos niveles por más simples que parezcan son lo que nos permiten tener seguridad contra explosiones y daños irreversibles en la planta de biogás.

- ✓ Se debe seguir las normas de seguridad y respetar las zonas de riesgo ya que esto evita atentados contra la vida de las personas.
- ✓ El biogás como combustible eficaz para su masificación necesita purificación para llegar a contenidos de metano de por lo menos un 90%, lo que nos permite tener un poder calorífico mayor y como consecuencia un mejor rendimiento de los equipos en los que se suministra biogás como combustible.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

- MONCAYO, G., ROMERO. Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás. Aqualimpia Beratende Ingenieure, 2008.

- JUDIT SERRA MARSAL, Tecnologías y aplicaciones de biogás, G Ibérica, 2009
- JOSÉ MARTÍ HERRERO, Biodigestores Familiares, guía de diseño y manual de instalación, Bolivia 2009
- TANIA DEL CARMEN BETETA HERRERA, Construcciones y uso de biodigestores tubulares plásticos, 2008.
- HILBERT JORGE, Manual para la Producción de Biogás, Instituto de Ingeniería Rural, Argentina, 2003
- Fernando, S. La biomasa como fuente de energía renovable, [www.cps.unizar.es/isf/index.htm](http://www.cps.unizar.es/isf/index.htm)
- German, Appropriate Technology y Exchange. [www3.gtzde//gate/techinfo/biogas](http://www3.gtzde//gate/techinfo/biogas)
- OBERT, EDWARD F., motores de combustión interna, continental s.a., México D.F. 1979.
- Enciclopedia CEAC del motor y automóvil. El motor de gasolina, Barcelona, 3a. Ed. 1972.
- Toyota Motor Corporation, Sistema de combustible, Volumen 2, Etapa 2, 1990.

## **GENERACIÓN DE GAS METANO A PARTIR DE DESECHOS ORGÁNICOS Y APLICACIÓN EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

CaleroT. Diego A. AUTOR 1

Nacimba T. Cristian R. AUTOR 1

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Escuela Politécnica del Ejército Sede  
Latacunga, Quijano y Ordóñez y Marqués de Maenza S/N Latacunga, Ecuador.

**Resumen:** Este proyecto de grado apunta a la generación de biogás para su aplicación como biocombustible en un motor de cuatro tiempos y producir energía eléctrica, para alcanzar el éxito en este proyecto se usará los desechos orgánicos producidos por los cerdos de la granja comercial del Ing. Luis Molina, ubicada en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui, parroquia Pintag, calle Sincholahua S/N.

### Metas del proyecto.

- Diseñar y construir una planta de biogás, con un biodigestor con capacidad de  $10 \text{ m}^3$  y un gasómetro de  $6 \text{ m}^3$  para acumulación del biogás
- Tratar 50kg diarios de estiércol de cerdo, para reducir la contaminación ambiental y procesarlos para obtener biogás.
- Aplicar el biogás en una planta eléctrica con motor de combustión interna para su prueba como biocombustible.

#### ✓ **Biogás.**

El biogás es un gas combustible que se produce a partir de la biomasa. El método más común de producción de biogás es la digestión anaeróbica en un tanque cerrado llamado biodigestor. El biogás obtenido en esta transformación lo constituye una mezcla de gases combustibles, contiene aproximadamente un 60 a 70 % de metano y un 30 a 40% de dióxido de carbono y un 0,5%  $\text{H}_2\text{S}$  entre otros componentes. Tiene un poder calorífico de 5.6 a 7.2 Kwh/m<sup>3</sup>.

#### ✓ **Biomasa**

“El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros).

#### ✓ **Biodigestor**

Un Biodigestor también conocido como planta de tratamiento anaeróbico, es un compartimiento hermético en el cual se fermenta la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Este sistema optimiza naturalmente el crecimiento y proliferación de un grupo de bacterias anaerobias que descomponen y tratan los residuos dejando, después de las reacciones químicas específicas, como subproducto gas combustible y un efluente líquido que es un biofertilizante.

#### **Dimensionamiento del sistema de producción de biogás:**

Biomasa: estiércol de cerdo

Cantidad de biomasa (Q):

$$Q = 50 \text{ kg/día}$$

Porcentaje de masa seca (%MS)

$$\% \text{ MS} = 38,8\%$$

Cantidad de masa seca (Q (MS))

$$Q (\text{MS}) = 19,75 \text{ kg}$$

Porcentaje de dilución

$$\% \text{ Dilución } (\% \text{D}) = 10\%$$

Afluente diario requerido (Q afluente) =  $\text{MS}/\% \text{D}$

$$19,75/1$$

$$= 197,5$$

Volumen de agua para la mezcla ( $\text{VH}_2\text{O}$ )

$$\text{VH}_2\text{O} = 197 - 50$$

$$V_{H_2O} = 147 \text{ lt}$$

Dónde:

VB es el volumen del biodigestor.

TR es el tiempo de retención.

EP es el estiércol producido.

EP es la densidad del estiércol.

RA es la cantidad de agua agregada en la mezcla según la relación estiércol agua.

A es la densidad del agua.

Densidad del estiércol de 993 kg/m<sup>3</sup> y de 1000 kg/m<sup>3</sup> para el agua.

Se calcula como sigue:

TRH = 45 días

EP = 50 lt

RA = 150 lt

$$9,01 \text{ m}^3$$

### Cantidad de energía eléctrica vs cantidad de biogás.

Dónde:

$n_t$  (motor) = eficiencia del motor

Pe = potencia en el eje.

Ec = energía del combustible.

Despejando:

$$Pe = n_t(\text{motor}) \times Ec.$$

Dónde:

$n(\text{generador})$  = eficiencia del generador

Ees = energía eléctrica de salida

Pe = potencia en el eje

Despejando:

Igualando y despejando obtenemos:

Para saber la energía eléctrica de salida se determina así:

Se posee una planta eléctrica de 1 kw, la cual se desea que trabaje 4 horas al día

Dónde:

Pp = potencia de la planta

ht = horas de trabajo al día

Además se conoce la eficiencia del motor y del generador:

$n(\text{motor}) = 30 \%$

$n(\text{generador}) = 70 \%$

Aplicando datos:

La equivalencia de 1 Kwh es:

1 Kwh = 860 Kcal

Por lo tanto:

$$\frac{\text{---}}{\text{---}}$$

El poder calorífico del biogás es 4500 Kcal/m<sup>3</sup> (poder calorífico inferior).

Finalmente:

$$\text{-----}$$

Dónde:

Vg= volumen de gas

$$\text{---}$$

### Conclusiones:

- ✓ La información técnica para el diseño y construcción de la planta de biogás aquí citada es confiable ya que cada dato se ha verificado a través del correcto funcionamiento práctico de dicho contenido.
- ✓ En el presente proyecto se ha realizado una inversión total de seis mil dólares americanos, con un retorno de la inversión de cuatrocientos dólares mensuales, por concepto de reemplazo de GLP industrial para los

calentadores térmicos de las maternidades en la granja.

- ✓ La introducción del biol como abono orgánico es una de las alternativas comerciales que pueden potencializar la construcción de biodigestores y ayudar a recuperar la inversión incluso hasta en un año lo cual lo transforma en una alternativa altamente rentable.
- ✓ Nuestro biodigestor, con volumen líquido de 9 m<sup>3</sup>, genera aproximadamente 3 m<sup>3</sup> de biogás por día, con un contenido de metano del 52%.
- ✓ El porcentaje de metano contenido en el biogás influye directamente en la eficiencia del motor de combustión interna y por lo tanto en la generación de energía eléctrica. La planta eléctrica cuando opera con biogás trabaja con un 60% de eficiencia.
- ✓ El biogás es un combustible alternativo renovable cuya fuente de producción es inagotable, lo cual lo convierte en un biocombustible altamente viable en la aplicación de motores de

combustión interna para diversos fines.

### **Recomendaciones.**

- ✓ La puesta en marcha del biodigestor es de suma importancia, se debe aumentar paulatinamente la COV, hasta alcanzar la estabilidad bacteriana dentro del reactor y el nivel de carga diaria para el que se diseñó, esto nos asegura un buen desarrollo de las bacterias para que el proceso de digestión anaeróbica pueda efectuarse completamente.
- ✓ Se debe llevar un registro diario, llamado “bitácora de carga”, de la cantidad de estiércol y aguas ingresadas, temperatura y pH ya que estos son indicadores del proceso dentro del reactor.
- ✓ El biogás como combustible eficaz para su masificación necesita purificación para llegar a contenidos de metano de por lo menos un 90%, lo que nos permite tener un poder calorífico mayor y como consecuencia un mejor rendimiento de los equipos en los que se suministra biogás como combustible.
- ✓ Se debe cumplir con las normas de seguridad para reducir a cero los riesgos por explosión y asfixia.

Latacunga, Julio del 2011

**LOS AUTORES:**

---

Diego Andrés Calero Torres

---

Cristian Ramiro Nacimba Tipán

**EL DIRECTOR DE CARRERA:**

---

Ing. Juan Castro Clavijo

**UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO:**

---

Dr. Eduardo Vásquez Alcázar

Secretario Académico