



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA UNA ESTUFA Y UN MOTOR DE UN CILINDRO CICLO OTTO

José Rodrigo Escobedo de León

Asesorado por el Ingeniero Byron Giovanni Palacios Colindres

Guatemala, julio de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA UNA
ESTUFA Y UN MOTOR DE UN CILINDRO CICLO OTTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSÉ RODRIGO ESCOBEDO DE LEÓN

ASESORADO POR ING. BYRON GIOVANNI PALACIOS COLINDRES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JULIO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL I | Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| VOCAL II | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL III | Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón |
| VOCAL IV | Br. Juan Carlos Molina Jiménez |
| VOCAL V | Br. Mario Maldonado Muralles |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|---------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez |
| EXAMINADOR | Ing. Sergio Torres Hernández |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA UNA ESTUFA Y UN MOTOR DE UN CILINDRO CICLO OTTO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el 30 de enero de 2,008.

José Rodrigo Escobedo de León

Guatemala, febrero de 2011

Ingeniero

Julio César Molina Zaldaña

Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica

Facultad de ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero:

Atentamente me dirijo a usted deseándole éxitos en sus actividades, hago de su conocimiento que el trabajo de graduación titulado **BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA UNA ESTUFA Y UN MOTOR DE UN CILINDRO CICLO OTTO**, realizado por el estudiante José Rodrigo Escobedo de León identificado con el número de carné 1995-16494, ha sido revisado y aprobado por mi persona.

Sin otro particular, se suscribe de usted.

Atentamente,



Ingeniero Byron Giovanni Palacios Colindres

Colegiado No. 5,641

Byron Giovanni Palacios C.
INGENIERO MECANICO
COLEGIADO No. 5641

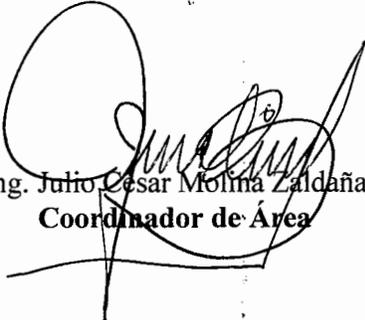
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del asesor del trabajo de graduación titulado BIOGAS COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA UNA ESTUFA Y UN MOTOR DE UN CILINDRO CICLO OTTO, del estudiante José Rodrigo Escobedo de León, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Molina Zaldaña
Coordinador de Área



Guatemala, marzo de 2011.

/behdei.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Térmica, al Trabajo de Graduación titulado **BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA UNA ESTUFA Y UN MOTOR DE UN CILINDRO CICLO OTTO**, del estudiante **José Rodrigo Escobedo de León**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, junio de 2011

JCCP/behdei



DTG. 226.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA UNA ESTUFA Y UN MOTOR DE UN CILINDRO CICLO OTTO**, presentado por el estudiante universitario **José Rodrigo Escobedo de León**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 30 de junio de 2011.

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

| | |
|-----------------------------------|--|
| Dios | Por ser guía de mi vida y permitirme llegar a este momento. |
| Mis padres | Carlos Enrique Escobedo Herrera, Aida del Rosario de León de Escobedo |
| Mis hermanos | Rita Gabriela, Martha Cristina, Ana Lucia y Erick Fernando. |
| Mis cuñados | Jesús Antonio y Troels Petersen. |
| Mis sobrinos | Gabriela Alejandra y Luis Carlos. |
| Mi tío | Doctor Luis Erick de León Barreda (q.e.p.d.) |
| Mi amigo de infancia | Allan Rodolfo Meléndez Aguilar, con quien he compartido momentos inolvidables fortaleciendo nuestra amistad. |
| Mis padrinos de graduación | Licenciada Martha Cristina Escobedo de León, Ingeniero Hugo Leonel Ramírez Ortiz |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| GLOSARIO | VII |
| RESUMEN..... | XV |
| OBJETIVOS..... | XVII |
| INTRODUCCIÓN..... | XIX |
| | |
| 1. BIODIGESTOR | 1 |
| 1.1. Funcionamiento básico de un biodigestor | 2 |
| 1.2. Criterios para considerar en el diseño de un biodigestor..... | 2 |
| 1.3. Tipos de biodigestores | 4 |
| 1.3.1. Pozos sépticos | 4 |
| 1.3.2. Biodigestor de domo flotante (hindú)..... | 5 |
| 1.3.3. Biodigestor de domo fijo (chino) | 5 |
| 1.3.4. Biodigestor de estructura flexible | 6 |
| 1.3.4.1. Materiales para la construcción..... | 11 |
| 1.3.4.2. Costo de la planta del biodigestor | 14 |
| 1.3.4.3. Aspectos prácticos | 14 |
| 1.4. Digestor flotante | 16 |
| 1.4.1. Funcionamiento de digestor | 17 |
| 1.4.2. Mantenimiento..... | 18 |
| 1.5. Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno | 18 |
| 1.6. Digestor de alta velocidad o flujo inducido | 19 |
| 1.6.1. Ventajas de los digestores de alta velocidad o flujo inducido | 21 |

| | | |
|--------|---|----|
| 1.6.2. | Precauciones a tener en cuenta con los digestores de alta velocidad o flujo inducido | 22 |
| 1.7. | Instalaciones industriales | 22 |
| 1.8. | Ventajas de los biodigestores | 24 |
| 1.9. | Dificultades técnicas de los biodigestores..... | 26 |
| 2. | GENERALIDADES DE BIOGÁS O PROPIEDADES DEL BIOGÁS | 27 |
| 2.1. | Energía calorífica | 27 |
| 2.2. | Entalpía..... | 28 |
| 2.3. | Tiempo de ebullición de agua con combustible propano | 32 |
| 2.4. | Punto de inflamación..... | 34 |
| 2.5. | Comprensibilidad del biogás | 36 |
| 3. | BIODIGESTOR SELECCIONADO PARA NUESTRA MEDICIÓN..... | 37 |
| 3.1. | Depósito de agua (tinaco) | 48 |
| 4. | PRUEBAS CON EL BIOGÁS EN ESTUFA | 55 |
| 4.1. | Adaptación de estufa a biogás..... | 55 |
| 4.2. | Utilizando propano y biogás..... | 55 |
| 5. | PRUEBAS DE BIOGÁS EN UN MOTOR DE UN CILINDRO CICLO OTTO | 57 |
| 5.1. | Eficiencia de biogás | 59 |
| 5.2. | Comparación del biogás con un ciclo Otto..... | 62 |
| 5.2.1. | Potencia | 63 |
| 5.3. | Posibles daños en el motor..... | 64 |
| 5.3.1. | Contaminación del aceite lubricante | 64 |
| 5.3.2. | Corrosión | 66 |

| | |
|-----------------------|----|
| CONCLUSIONES | 67 |
| RECOMENDACIONES | 69 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 71 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Esquema del biodigestor chino | 6 |
| 2. | Biodigestor de polietileno | 7 |
| 3. | Biodigestor de plástico de bajo costo..... | 10 |
| 4. | Materiales para el biodigestor plástico de bajo costo..... | 12 |
| 5. | Estufa de cocina | 14 |
| 6. | Biodigestor de plástico | 15 |
| 7. | Biodigestor flotante | 17 |
| 8. | Biodigestor con tanque de almacenamiento | 19 |
| 9. | Biodigestor de tercera generación | 21 |
| 10. | Biodigestor industrial..... | 23 |
| 11. | Biodigestor industrial..... | 24 |
| 12. | Biodigestor industrial..... | 24 |
| 13. | Punto de ebullición..... | 33 |
| 14. | Biodigestor flexible | 37 |
| 15. | Lugar del biodigestor flexible | 38 |
| 16. | Lugar del biodigestor flexible | 38 |
| 17. | Biodigestor inflado | 39 |
| 18. | Colocación del macho y hembra en pvc | 41 |
| 19. | Introducción definitiva y amarre de los extremos del biodigestor | 42 |
| 20. | Válvula de seguridad..... | 43 |
| 21. | Biodigestor alojado en la fosa | 45 |
| 22. | Quemadores | 46 |

| | | |
|-----|--|----|
| 23. | Biodigestor en un tinaco | 49 |
| 24. | Llave de salida del gas y manómetro | 49 |
| 25. | Llave de salida del desecho | 50 |
| 26. | Llama del biogás..... | 56 |
| 27. | Llama del biogás..... | 56 |
| 28. | Instalaciones de tubería del gas metano al motor | 58 |

TABLAS

| | | |
|------|---|----|
| I. | Valores caloríficos de diferentes combustibles..... | 28 |
| II. | Hidrocarburos normales | 29 |
| III. | Propiedades generales..... | 31 |
| IV. | Punto de inflamación para algunos combustibles..... | 34 |
| V. | Limite de inflamabilidad para algunos combustibles..... | 35 |
| VI. | Eficiencia del biogás | 59 |

GLOSARIO

Aceite (combustible)

Producto derivado del petróleo crudo que se usa para calefactores, motores diesel y generadores eléctricos.

Aire

La mezcla de gases que rodea la Tierra y forma su atmosfera, constituida por 21 por ciento de oxígeno y 78 por ciento de nitrógeno.

Aire de combustión

Aire que aporta el oxígeno necesario para la combustión limpia y completa y el máximo valor de calefacción.

Bacterias

Organismos unicelulares, de vida libre o parásitos, que descomponen los desechos y los cuerpos de los organismos muertos, lo que los deja disponibles para ser reutilizados por otros organismos.

Bacterias aeróbicas

Microorganismos que requieren oxígeno libre o aire, para vivir y que contribuyen a la descomposición del material orgánico en suelos o sistemas de composta.

| | |
|--|---|
| Bacterias anaeróbicas | Microorganismo que viven en ambientes carentes de oxígeno. |
| Biodigestor | Es cualquier aparato que procesa materia orgánica para producir el biogás. |
| Biogasificación o biometanización | Proceso que consiste en descomponer la biomasa con bacterias anaeróbicas para producir biogás. |
| Biomasa | Según la definición de la <i>Energy Security Act</i> (PL96294) [ley de seguridad en materia de energía] de 1980, “toda sustancia orgánica disponible que sea renovable, como los cultivos agrícolas y los desechos y residuos de la madera, los desechos animales, los desechos municipales y las plantas acuáticas.” |
| Compostaje | Proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable, permitiendo obtener abono de excelente calidad para la agricultura. |
| Caballo de potencia(hp) | Unidad de velocidad de operación. HP eléctrico: medida de la tasa por tiempo de la salida de energía mecánica; se |

suele aplicar a motores eléctricos como su salida de potencia máxima; 1 hp eléctrico es igual a 0.746 kilowatts o 2,545 Btu por hora. Caballos al eje: medida de la energía mecánica real por unidad de tiempo entregada a un eje giratorio; 1 caballo al eje es igual a 1 caballo de potencia eléctrico o 550 libras-pie por segundo. Hp de caldera (unidad igual a 8,400 kilocalorías/hora): medida de la tasa máxima de salida de calor de un generador de vapor; 1 Hp de caldera es igual a 33,480 Btu por hora de emisión de vapor.

Calor

Forma de energía térmica producida por combustión, reacción química, fricción o movimiento de la electricidad. Como condición termodinámica, el calor, a presión constante, es igual a energía interna o intrínseca más la presión por el volumen.

Caloría

La cantidad de calor necesaria para aumentar un grado Celsius (o centígrado [C]) la temperatura de una unidad de agua a la temperatura de la densidad máxima o cercana a ella; expresada

como una “pequeña caloría” (la cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura de 1 gramo de agua en un grado C), o como “caloría grande” o “kilocaloría” (la cantidad de calor necesaria para aumentar en un grado C un kilogramo [1,000 gramos] de agua); la `c` mayúscula en la palabra caloría indica caloría grande.

Cámara de combustión

Todo espacio total o parcialmente cerrado en el que se produce la combustión.

Ciclo termodinámico

Proceso ideal en que un fluido de trabajo (agua, aire, amoníaco, etc.) modifica su estado en forma sucesiva (de líquido a gas y nuevamente a líquido), con el objetivo de producir trabajo o energía útil o de transferir energía.

Combustible

Cualquier material que se puede quemar para obtener energía.

Combustible común

Los combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural.

| | |
|----------------------------------|--|
| Combustible de biomasa | Biomasa convertida directamente en energía o en combustibles líquidos o gaseosos, como el etanol, el metanol, el metano y el hidrógeno. |
| Combustibles alternativos | Término difundido para combustibles para transporte “no convencional”, derivados del gas natural (propano, gas natural comprimido, metanol, etc.) o materiales de la biomasa (etanol, metanol) |
| Digestión anaeróbica | Proceso complejo mediante el cual las bacterias anaeróbicas descomponen la materia orgánica. En el proceso de descomposición se produce un derivado gaseoso comúnmente llamado “biogás”, compuesto principalmente por metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno. |
| Digestor (anaeróbico) | Dispositivo en el cual se descompone bioquímicamente (digiere) materia orgánica por medio de bacterias anaeróbicas, para tratar el material y/o producir biogás. |
| Digestor anaeróbico | Dispositivo destinado a optimizar la digestión anaeróbica de la biomasa y/o |

del abono animal y, posiblemente, a recuperar el biogás para la producción de energía. Entre los tipos existentes figuran el digestor por lotes, el de mezcla completa, el de circulación continua (circulación horizontal o de tapón, tanques múltiples y tanque vertical) y el de laguna cubierta.

Dióxido de carbono

Gas incoloro, inodoro e incombustible cuya fórmula es CO_2 , presente en la atmosfera. Se forma por la combustión del carbono y sus compuestos (como los combustibles fósiles y la biomasa), por la respiración, -que es una combustión lenta-, de animales y plantas, y por la oxidación gradual de la materia orgánica de la tierra.

Dióxido de nitrógeno

Este compuesto de nitrógeno y oxígeno se forma por oxidación de óxido nítrico (NO), que se produce por la quema de combustibles sólidos.

Etanoato de sodio

También llamado acetato de sodio, es la sal de sodio del ácido acético.

Entalpía

Propiedad termodinámica de una sustancia, definida como la suma de su

energía interna más la presión de la sustancia por su volumen, dividida entre el equivalente mecánico del calor. Es el contenido calorífico total del aire: la suma de las entalpías del aire seco y el vapor de agua, por peso unitario del aire seco, se mide en Btu por libra (o calorías por kilogramo).

Gas natural comprimido (GNC)

Gas natural (metano) comprimido por una compresora y por lo tanto, en un estado gaseoso de mayor presión, se utiliza en vehículo de GNC.

Metano

Gas incoloro, inodoro e insípido compuesto por una molécula de carbono y cuatro de hidrógeno; es en extremo inflamable. Es el principal elemento constitutivo del “gas natural”, que se forma naturalmente por bacterias anaeróbicas metano génicas o que puede producirse en forma sintética. Se utiliza como combustible y para fabricar sustancias químicas.

Monóxido de carbono

Gas combustible, incoloro e inodoro, pero venenoso, cuya fórmula es CO. Se produce en la combustión incompleta del

carbono y sus compuestos, como los combustibles fósiles (es decir carbón, petróleo) y sus derivados (por ejemplo, gas licuado de petróleo, gasolina) y la biomasa.

Propano

Hidrocarburo gaseoso, C_3H_8 , que existe en el petróleo crudo, en el gas natural y en el gas que se separa de los demás componentes del petróleo en una refinería. Se utiliza como combustible, disolvente y refrigerante. El propano se licúa a presión y es el principal componente del gas líquido de petróleo (GLP).

Punto de inflamación

La temperatura mínima a la cual un líquido o sólido (combustible) libera vapor suficiente para formar una mezcla de vapor combustible aire que sea inflamable a presión atmosférica.

RESUMEN

Con el objetivo de contribuir con nuestro país y de evitar la deforestación y, por ende, el cuidar el medio ambiente, se ha buscado y encontrado la forma de hacer útil el uso de todos los materiales de desechos orgánicos, por medio de los cuales se puede generar el gas metano, para ser utilizados en estufas y en un motor de cilindro ciclo Otto, que pueden ser adaptados a este combustible.

La obtención de esta clase de combustible es útil para evitar la deforestación y hacer accesible a la población el gas para cocinar sin la contaminación ambiental. Además, los residuos obtenidos son otra ayuda, ya que tales productos pueden seguir siendo útiles en el campo de la agricultura, como abono orgánico en los diferentes cultivos.

La disposición definitiva de los residuos sólidos es, actualmente, uno de los problemas más importantes que afectan a la región de América Latina, en términos ambientales. El sistema más adecuado para la disposición final es el relleno sanitario.

La producción del biogás en rellenos grandes permite su aprovechamiento, ya que se transforma en energía eléctrica, se tiene una alta inversión inicial, pero que puede ser autofinanciable.

El biogás generado en rellenos sanitarios puede ser capturado utilizando un sistema de recolección, que usualmente quema el gas por medio de quemadores.

Alternativamente, el gas recuperado puede usarse de diferentes maneras. Por ejemplo: producción de energía eléctrica a través del uso de generadores de combustión interna, turbinas, o micro turbinas o puede utilizarse como combustible en calentadores de agua u otras instalaciones.

Además de los beneficios energéticos en el uso del biogás, la recolección y control del biogás generado ayuda a reducir emisiones atmosféricas contaminantes.

OBJETIVOS

General

Generar biogás para combustible de una estufa de cocimiento y para un motor de combustión interna de un cilindro ciclo Otto, por medio del aprovechamiento de estiércol, ya sea de vaca, cabra, conejo, cerdo, gallina, caballo y burro, denominando a éste, compostaje.

Específicos

1. Generar biogás para que pueda ser utilizado en múltiples aplicaciones como iluminación, refrigeración calefacción ambiental para uso residencial y comercial para energía motriz.
2. Utilizar un biodigestor para la producción de biogás que puede ser utilizado para la calefacción como reemplazo de la madera.
3. Utilizar el biogás como combustible a partir del cual se puede operar un motor de combustión interna de un cilindro.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la emisión de gases hacia la atmósfera con efecto invernadero como consecuencia de la actividad agropecuaria y la dependencia de los derivados del petróleo para la obtención de energía, alteran o afectan la sostenibilidad en las actividades productivas y económicas de la agricultura.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT –FAO- (2002), en el caso de la ganadería, el estiércol producido contiene materia orgánica, la cual, bajo condiciones anaeróbicas (como en fosas de almacenamiento de estiércol y en lagunas) se convierte en biogás que contiene metano y dióxido de carbono. Tanto el metano, como el dióxido de carbono son gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento global.

En general, los gases producidos en el sector agropecuario contribuyen con más de un 30% en dicho efecto.

La necesidad de alternativas de producción energética mediante la implementación de prácticas amigables con el ambiente y el aprovechamiento de los recursos disponibles, crea un clima favorable para la promoción e implementación de la tecnología de biodigestores, obteniendo como beneficio la producción de biogás. Por tanto, aprovechar de manera eficiente este combustible es de importancia para sustituir las tradicionales fuentes energéticas no renovables, escasas y costosas, convirtiendo la explotación agropecuaria en una actividad económica más rentable y menos contaminante.

Generalmente, en la mayoría de los países latinoamericanos, el biogás ha tenido un uso limitado a la cocción de alimentos y calefacción de animales de granja. A pesar de esto, el uso del biogás en la sustitución de combustibles fósiles para la generación de electricidad, en motores de combustión interna, ha cobrado importancia en los últimos años. El biogás puede ser utilizado para reemplazar la gasolina hasta en un 100%, mientras que en motores diesel sólo se logra un máximo de 80%, debido a que la baja ignición del biogás no permite que haya explosión en este tipo de motores que carecen de bujía. Para el uso del biogás en motores es indispensable eliminar el ácido sulfhídrico (H_2S), ya que éste al reaccionar con agua forma ácido sulfúrico (H_2SO_4), que es altamente corrosivo y puede ocasionar graves daños internos al motor.

1. BIODIGESTOR

Un biodigestor es un depósito completamente cerrado, donde el estiércol de los animales se fermenta sin aire para producir gas metano y un sobrante (o líquido espeso), que sirve como abono y como alimento para peces y patos. El gas metano, que resulta menos peligroso que el propano utilizado en las ciudades, se produce en un biodigestor aprovechando el estiércol de las vacas, cerdos, cabras, conejos, gallinas, caballos y burros (COMPOSTAJE), con lo cual se evita el empleo de la leña y, desde luego, la destrucción de los árboles.

Un biodigestor se compone de las siguientes partes:

- Fosa del biodigestor
- Bolsa o campana
- Salida del biogás
- Válvula de seguridad
- Tubos conductores del gas
- Quemador de fogón

El compostaje se puede definir como el resultado de un proceso de unificación de la materia orgánica. El compostaje es un nutriente para el suelo, que mejora la estructura, ayuda a reducir la erosión y a la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas. Los desechos orgánicos son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Cuando este tipo de desechos se encuentra en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno y ya no pueden vivir en esta agua, peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno.

1.1. Funcionamiento básico de un biodigestor

El biodigestor es una forma barata y fácil de obtención de energía, que tiene gran potencial para ser desarrollada y utilizada ampliamente.

1.2. Criterios para considerar en el diseño de un biodigestor

Los siguientes son los aspectos a tener en cuenta en el diseño, planificación y construcción de un biodigestor:

Factores humanos

- Idiosincrasia
- Necesidad, la cual puede ser sanitaria, energética y de fertilizantes
- Recursos disponibles de tipo económico, materiales de construcción, mano de obra, utilización del producto, área disponible
- Disponibilidad de materia prima, si se cuenta con desechos agrícolas, desechos pecuarios, desechos domésticos, desechos urbanos, desechos industriales

Factores biológicos

- Enfermedades y plagas, tanto humanas como pecuarias y agrícolas

Factores físicos

- Localización, si la ubicación es en zona urbana, rural o semi-urbana
- Geografía: aspectos como latitud, longitud y altitud

- Climáticas: dentro de estos aspectos están las temperaturas máximas y mínimas, la precipitación pluvial, la humedad ambiental, la intensidad solar, los vientos, su intensidad y dirección
- Vías de acceso
- Topografía, teniendo en cuenta el declive del suelo: si es plano, ondulado, o quebrado
- Suelos con sus características como la textura, estructura, nivel freático y capacidad agrológica

Factores de construcción

- Técnicas de construcción: si es de tierra compactada, cal y canto o ladrillo (barro cocido, suelo-cemento, silicio-calcáreo), planchas prefabricadas, ferro-cemento, concreto, módulo prefabricados.

Factores utilitarios

- Función principal: si se construye de madera experimental, demostrativa productiva
- Usos: si el uso es de tipo sanitario, energético, fertilizante, integral
- Organizativo: si el biodigestor se va a construir a escala doméstica, para grupo familiar, comunitario o empresas
- Capacidad: si es pequeño, de 3 a 12 m³ / digestor; si es mediano, de 12 a 45 m³ / digestor y si es grande, de 45 a 100 m³ / digestor
- Operación de la instalación contemplando aspectos como el funcionamiento del pre tratamiento, la mezcla, la carga y controles de PH, obstrucciones de líquido, sólidos y gases; las descargas de afluentes tanto líquidos como gaseosos y de lodos; el almacenamiento de los líquidos, sólidos y gases; la aplicación de líquidos que están disueltos en

el agua y los sólidos en masa y por último, los gases utilizados para la cocción, iluminación e indirectamente, en los motores

Con el objetivo de disminuir el tamaño de los digestores se han utilizado los productos orgánicos que brindan mayor cantidad de biogás por unidad de volumen; algunos de ellos son: la excreta animal, la cachaza de la caña de azúcar, los residuales de mataderos, destilerías y fábricas de levadura, la pulpa y la cáscara de café, así como la materia seca vegetal.

1.3. Tipos de biodigestores

Hay muchos tipos de plantas de biogás pero los más comunes son el domo flotante (hindú) y el domo fijo (chino). La pobre aceptación de muchos de estos biodigestores se ha debido principalmente a los costos altos, la dificultad de instalación y problemas en la consecución de las partes y repuestos.

1.3.1. Pozos sépticos

- Es el más antiguo y sencillo digestor anaeróbico que se conoce, utilizado normalmente para la disposición de aguas residuales domésticas. Se cree que de allí deriva el uso potencial de los gases producidos por la fermentación anaeróbica, para el uso doméstico. Para la correcta operación de estos pozos es requisito indispensable aislar las aguas servidas que caen en él de las que contienen jabón o detergentes.
- El efecto de los jabones y en especial de los detergentes, inhibe la acción metabólica de las bacterias, razón por la que los pozos se colman con rapidez y dejan de operar, haciendo necesario destaparlos frecuentemente para recomenzar la operación.

Cuando no es posible separar las aguas negras de las jabonosas, como en el alcantarillado urbano, es necesario hacer un tratamiento químico con polímeros a esta agua, a fin de solucionar el problema antes de iniciar la fermentación anaeróbica.

1.3.2. Biodigestor del domo flotante (hindú)

Este biodigestor consiste en un tambor, originalmente hecho de acero, pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP), para superar el problema de corrosión. Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón. Se entrapa el gas producido bajo una tapa flotante que sube y se cae en una guía central. La presión del gas disponible depende del peso del poseedor de gas por el área de la unidad y, normalmente, varía entre 4 a 8 cm de presión de agua. El reactor se alimenta semi-continuamente a través de una tubería de entrada.

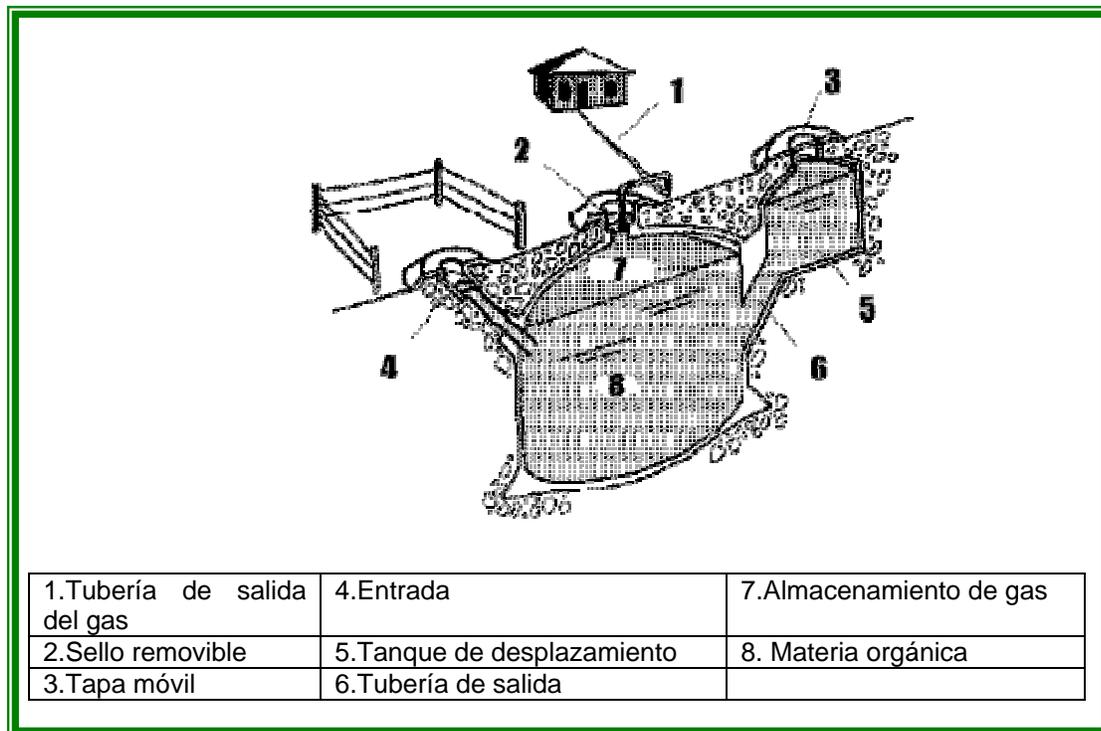
1.3.3. Biodigestor de domo fijo (chino)

Este reactor consiste en una cámara de gas firme, construido de ladrillos, piedra u hormigón. La cima y fondos son hemisféricos y van unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero, para hacerla firme. La tubería de la entrada es recta y con extremos nivelados. Hay un tapón de la inspección a la cima del digestor que facilita el limpiado. Se guarda el gas producido durante la digestión bajo el domo y cambia de sitio algunos de los volúmenes del digestor en la cámara del afluente, con presiones en el domo entre 1 y 1.5 m de agua. Esto crea fuerzas estructurales bastante altas y es la razón para la cima hemisférica y el fondo. Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construir este tipo de

biodigestor. Más de cinco millones de biodigestores se han construido en China y han funcionado correctamente (FAO, 1992) pero, desgraciadamente, la tecnología no ha sido tan popular fuera de China

Esta instalación tiene como ventaja su elevada vida útil (puede llegar a 20 años como promedio), siempre que se realice un mantenimiento sistemático.

Figura 1. Esquema del digestor chino



Fuente: Fundación Hábitat Colombia.

1.3.4. Biodigestor de estructura flexible

La inversión alta que exigía construir el biodigestor de estructura fija resultaba una limitante para el bajo ingreso de los pequeños granjeros. Esto motivó a ingenieros de Taiwán, en los años sesenta (FAO, 1992), a hacer

biodigestores de materiales flexibles más baratos. Inicialmente se usaron nylon y neopreno, pero resultó ser relativamente costoso.

Una nueva propuesta en los años setenta era combinar PVC con el residuo de las refinерías de aluminio, producto llamado “el barro rojo PVC.” Esto fue reemplazado después por polietileno, material menos costoso y, actualmente, el más usado en América Latina, Asia y África. Desde 1986 el Centro para la Investigación en Sistemas Sustentables de Producción Agrícola (CIPAV) ha recomendado biodigestores de plástico económico, como la tecnología apropiada, ya que hace mejor uso de excrementos del ganado, reduciendo así, la presión en otros recursos naturales.

En este digestor, el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma.

Figura 2. Biodigestor de polietileno



Fuente: Fundación Hábitat Colombia.

Este biodigestor presenta los siguientes componentes:

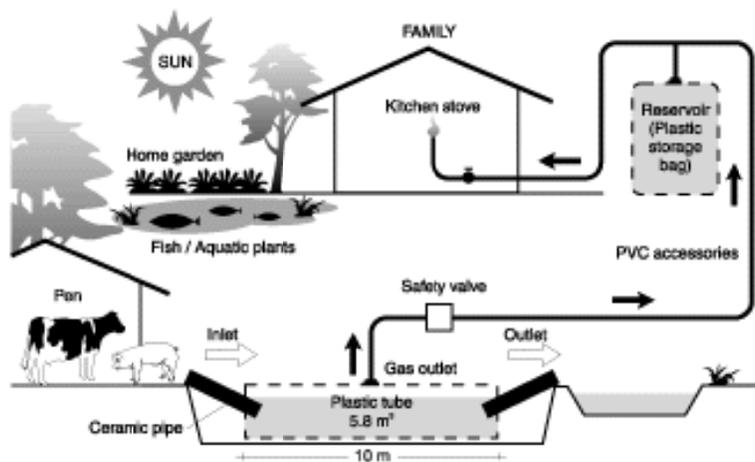
- Tubo de admisión: es un tubo de plástico de 20 a 30 cm. de diámetro, que debe usarse para la admisión de desechos y debe sumergirse en los residuos al menos a 15 cm. de profundidad, lo cual previene el escape del metano. Es necesario utilizar un pozo para limpiar el material celulítico antes de ingresar al biodigestor, porque dicho material puede obstruir con facilidad la entrada de éste.
- Fermentador y bolsa de almacenamiento: éste es el principal comportamiento del biodigestor. La bolsa de almacenamiento está en la parte superior del biodigestor. El tamaño del fermentador depende de la cantidad de desechos a fermentar por 0.3 m^3 , pero éste no debe ser muy grande. Si la cantidad de desechos a tratar es elevada, se pueden conectar cámaras múltiples por medio del tubo plástico. Este sistema posee una mayor área superficial y resulta muy eficiente; su limitante es que puede resultar muy costoso. Es deseable que el biodigestor esté aislado y cuente con un dispositivo de calentamiento y de agitación. Un mecanismo bueno sería la construcción de una pared de tierra en la parte norte del biodigestor para prevenir el enfriamiento a causa de los vientos, en el lado sur un colector solar simple para la calefacción; esto con el fin de mantener la temperatura del fermentador constante. La bolsa de almacenamiento de gas puede incorporarse al digestor o estar independiente e instalarse cerca de la cocina.
- Tubo de afluyente: el diámetro del tubo debe ser de 4 a 6 pulgadas de material de plástico. Se localiza por debajo del tubo de entrada en el lado opuesto del digestor; el tubo del afluyente también debe ser sumergido a

15 cm. de profundidad del fermentador para prevenir el escape de gas, se debe mantener el flujo constante.

- Tubo de metano: se ubica en la parte de la bolsa de almacenamiento de metano. Este tubo debe tener 2 pulgadas de diámetro y se usa para transportar el biogás a su lugar de uso. El tubo posee una salida que está sumergida en agua y que drena la humedad condensada.
- Dispositivo de seguridad: éste se utiliza para prevenir la ruptura del fermentador debido a presiones altas de la fermentación anaeróbica de los desechos. Consiste en una botella de al menos 10 cm de profundidad, insertada en el tubo de salida; cuando la presión del digestor es mayor a la del agua, se libera el biogás.
- Tubo de limpieza: el lodo que se sedimenta en el fondo del biodigestor debe ser removido cada dos años. La tubería sirve para evacuar estos lodos por mecanismo como bombeo. Se puede disponer, cuando el biodigestor es muy largo, de un tubo en un extremo del biodigestor y otro tubo en la mitad del mismo.
- Instalación: lo primero que se debe hacer es preparar un foso un poco más grande que el biodigestor, luego se produce a instalar el biodigestor y los tubos de admisión y de afluyente. Después de tres o cuatro días se llena el foso con agua y luego se descargan los desechos de animales; el agua que rodea el digestor puede ayudarlo a expandirse completamente y disminuye la tensión que ejerce en los tubos de entrada y de salida. El proceso de fermentación depende de la época del año en la que se haga la instalación; se hace más rápido en verano y más lento en invierno.

- Mantenimiento: los biodigestores de este tipo prácticamente no necesitan mantenimiento constante, toda vez que su vida útil oscila entre tres o cuatro años, según el cuidado y conservación que se brinde. Cuando se necesita el metano sólo se ejerce una pequeña presión sobre la bolsa de almacenamiento, moviendo de esta forma el biogás a donde se necesita.

Figura 3. **Biodigestor de plástico de bajo costo**



Fuente: Fundación Hábitat Colombia.

Ventajas de los biodigestores de plástico económicos:

- Este tipo de digestor es muy económico y fácil de transportar por su bajo peso, en especial en aquellos sitios de difícil acceso
- Al ser hermético se reducen las pérdidas

Las plantas del biogás pueden ofrecer varias ventajas a las comunidades rurales, incluyendo:

- Una reducción del trabajo físico, sobre todo de las mujeres
- Una reducción de la presión en los recursos naturales como combustible y carbón de leña

- Producción de energía barata
- Mejora el sistema de cultivo reciclando estiércol a través de biodigestores, producción de gas para cocinar y fertilizante (una vez el estiércol ha atravesado un biodigestor se vuelve un fertilizante orgánico excelente)
- Reducción de la polución sobre todo en áreas urbanas

Una de las desventajas que tiene este tipo de biodigestores es que se dé alguna rotura por accidente; sin embargo, esto no dificulta seguir usándolo, pues se puede reparar con el mismo material con el que fue hecho el biodigestor, utilizando un pegamento suficientemente fuerte.

También es muy vulnerable a sufrir roturas por condiciones climáticas adversas, por las acciones del hombre y los animales.

1.3.4.1. Materiales para la construcción del biodigestor

El polietileno tubular se produce en la mayoría de los países. La opción de montajes suplementarios y materiales relacionados se ha limitado a los disponibles localmente en granjas o en mercados rurales; los materiales requeridos para el biodigestor y la estufa son:

Figura 4. **Materiales para el biodigestor de plástico de bajo costo**



Fuente: Fundación Hábitat Colombia.

Biodigestor

- Polietileno tubular transparente. El diámetro variará según la capacidad de las plantas productoras locales, normalmente en el rango de 80 a 125 cm (equivalente a una circunferencia de 2.5 a 4 m). El calibre (espesor) debe estar entre 800 y 1,000 (200 a 250 micras). La longitud del tubo es determinada por el tamaño del biodigestor. El material más apropiado es el usado en los invernaderos que normalmente contienen filtro ultravioleta (UV), que ayuda a prolongar la vida del plástico cuando se expone totalmente al sol
- Dos tubos cerámicos, 75 a 100 cm de largo, con un diámetro interior de 15 m
- Plástico (PVC) de 12.5 mm de diámetro (la longitud depende de la distancia a la cocina)
- Dos adaptadores de PVC (macho y hembra) de 12.5 mm de diámetro
- Dos lavanderas de caucho (de los tubos internos de automóviles) de 7 cm de diámetro y 1 mm espesor, con un diámetro de 12.5 mm de agujero central

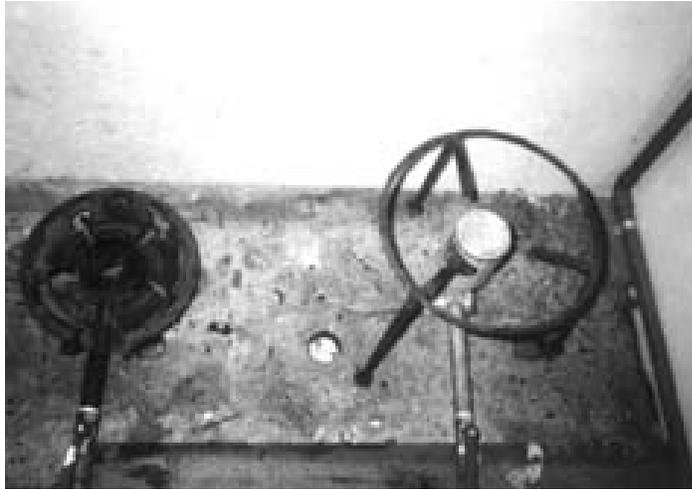
- Dos plásticos rígidos de policarbonato de 10 cm de diámetro y un agujero central de 12.5 mm. Aunque el policarbonato es mejor, también puede reemplazarse con plásticos viejos u otros artículos hechos de plástico fuerte
- 2 m de tubería de PVC de 12.5 mm de diámetro
- Cuatro neumáticos (de las bicicletas, motocicletas o automóviles) cortados en tiras anchas de 5 cm
- Una botella de plástico transparente (capacidad 1.5 litros)
- Un codo de PVC de 12.5 mm de diámetro
- Tres “T” de PVC de 12.5 mm de diámetro
- Un tubo de cemento

Depósito de almacenamiento de gas: una mejora importante a la tecnología del biodigestor es la instalación de un depósito, hecha del mismo plástico tubular como el digestor, para guardar el gas en proximidad a la cocina. Esto ha superado el problema de proporciones bajas de flujo de gas cuando el digestor se localiza a larga distancia de la cocina y cuando el tubo de gas que los une tiene un diámetro estrecho.

Estufa de cocción

La planta de biodigestor incluye una estufa simple con una tubería galvanizada de 12.5 mm de diámetro y dos quemadores que usan el mismo tipo de tubería. Los usuarios han desarrollado muchas modificaciones al plan básico para combatir los efectos del viento y satisfacer las necesidades personales. Muchas investigaciones han hecho énfasis en mejorar estufas más convencionales, pero muy pocas, en estufas usadas con biodigestores.

Figura 5. Estufa de cocinar: (izquierda) quemador clásico; (derecha) uno hecho con una lata



Fuente: Fundación Hábitat Colombia.

1.3.4.2. Costo de la planta del biodigestor

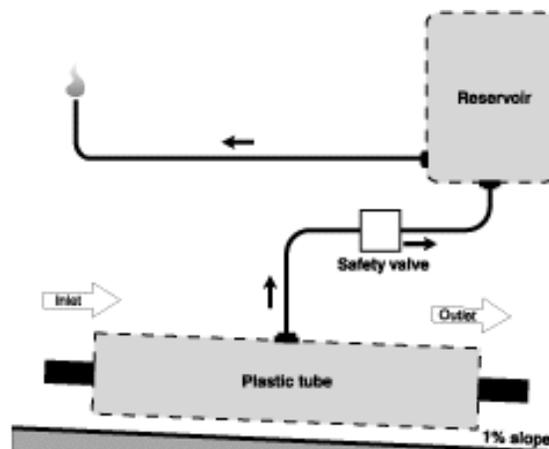
El costo del biodigestor de plástico es relativamente bajo y varía según el tamaño y situación. Por ejemplo, en Colombia, el costo por m³ de volumen líquido está alrededor de \$US 30 y esto incluye el recipiente y su conexión, las cajas de cemento para las entradas tomas de corriente, depósito de gas de plástico, estufa, la labor para preparar la trinchera y la instalación del biodigestor. En Vietnam el costo medio por m³ tendría un costo total de US\$37.80, incluyendo dos quemadores.

1.3.4.3. Aspectos prácticos

Al escoger la ubicación conveniente para un biodigestor, es preferible un sitio cercano al lugar donde se encuentra las materias a transformar. La ubicación de la cocina normalmente no es un problema. Las paredes y el suelo

deben ser firmes, cualquier material como piedras afiladas o raíces deben quitarse de las paredes y suelo. La trinchera debe situarse de manera que pueda desviar el agua de lluvia. Para acomodar el tubo de plástico, debe clasificarse las dimensiones de la trinchera según tamaño. Por ejemplo, en Colombia éste es normalmente de 1.25 m de diámetro, para que la trinchera dé 1.20 m de ancho en la cima, 80 cm al fondo y 1 m de profundidad; la longitud puede variar de 3 a 10 m, según las necesidades de la familia y la disponibilidad de estiércol. Dos pedazos de la película tubular estarán cortados a cada 1 m; se ponen en tierra lisa y uno se inserta en el otro.

Figura 6. **Biodigestor de plástico**



Fuente: Fundación Hábitat Colombia.

Para la toma de corriente de gas se hace un agujero pequeño en las dos capas de plástico entubado, aproximadamente a 1.5 m de la entrada. Se ajusta el plástico rígido de policarbonato al PVC con el plástico y se adapta con el accesorio del PVC macho, a través del agujero del interior al exterior. Se pone el segundo plástico rígido al PVC pegado con silicón, de manera que se encuentre conectado al adaptador macho del exterior del tubo y se afianzan herméticamente con el adaptador hembra. La salida del adaptador hembra está cerrada con un cuadrado pequeño de película de plástico y una venda de

caucho. La tubería de la entrada cerámica (concreto, aunque también pueden usarse tubería de PVC, lo que puede ser más caro) se inserta en un extremo del tubo de plástico. La película de plástico se pliega alrededor de la tubería y se afianza con 5 cm de caucho. Las vendas se envuelven en una capa continua para cubrir los bordes del plástico y quede completamente firme para terminar en el tubo cerámico. El tubo de la entrada está entonces cerrado con un cuadrado de plástico (o una bolsa de plástico), y una venda de caucho. El procedimiento de la instalación en Vietnam involucra llenar el tubo del polietileno de aire antes de ponerlo en la trinchera. El tubo se ata entonces con una venda de caucho aproximadamente a 3 m del extremo, para que el aire no escape. En Colombia, la manera más común de instalar el biodigestor es plegando el plástico de una manera organizada y extendiéndolo a lo largo del suelo de la trinchera. El tubo del polietileno debe ponerse en la trinchera con cuidado. Los tubos cerámicos deben ponerse a un ángulo de 45° y deben sellarse temporalmente con arcilla. La válvula de seguridad se hace de una botella de plástico transparente, un PVC "T" y tres pedazos de PVC tubular (uno de 30 cm y los otros dos de 5 cm). Se agrega agua en la botella y se mantiene a una profundidad de 5 cm sobre la boca del tubo.

1.4. Digestor flotante

Un rango invocador de usar polietileno tubular es que los biodigestores pueden colocarse o situarse para flotar en cualquier superficie de agua con la mitad sumergida, su boca se localiza sobre el nivel de agua más alto, mientras la toma de corriente debe ajustarse a un objeto flotante, como un coco seco o un recipiente de plástico. En Vietnam más de 5% de los biodigestores flotantes se ubican en estanques, lo que facilita su instalación, generalmente donde el espacio de las granjas es limitado.

Figura 7. Biodigestor flotante



Fuente: Fundación Hábitat Colombia.

1.4.1. Funcionamiento de digestor

Es posible usar cualquier tipo de excreta, pero la producción de gas es más alta con estiércol de cerdo y mezclas de excrementos de pollos y ganado. La cantidad requerida depende de la longitud del digestor, pero por lo general es de aproximadamente 5 kg de estiércol fresco (1 kg de materia sólida), para cada 1 m. A esto deben agregarse 15 litros de agua para que el volumen de los sólidos represente alrededor del 5 por ciento. No es aconsejable usar menos agua; esto puede llevar a la formación de escoria sólida en la superficie del material. Cuatro a cinco cerdos (peso vivo supuesto de 70 kg), proporcionarán bastante estiércol para producir el gas requerido para una familia de cuatro a cinco personas. Se ha experimentado este biodigestor con excrementos humanos siendo una manera eficaz de reducir la transmisión de enfermedades y dar otro uso a las letrinas.

1.4.2. Mantenimiento

- Los digestores deben cercarse para evitar averías en el sistema
- Debe proporcionarse un tejado para prevenir el daño al plástico por la radiación ultravioleta. Cualquier tipo de cobertura con material tradicionalmente usado en la granja es conveniente
- Para aumentar la presión de gas al cocinar, se puede atar un objeto pesado (ladrillo o piedra), al fondo del depósito o apretar un cordón alrededor del medio
- La lluvia no debe entrar en el digestor, porque puede causar dilución excesiva
- El nivel de agua en la válvula de seguridad debe verificarse semanalmente
- Se debe cubrir el digestor diariamente y asegurarse que el tubo de la salida no esté bloqueado

1.5. Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno

Otro tipo de planta de producción de biogás que ha logrado disminuir los costos hasta 30% con respecto a los prototipos tradicionales, es la que se caracteriza por tener una estructura semiesférica de polietileno de película delgada, en sustitución de la campana móvil y la cúpula fija y un tanque de almacenamiento de piedra y ladrillo, como los empleados en los prototipos tradicionales. Este tipo de instalación posee a su favor que resulta más económica que los sistemas tradicionales; por ejemplo, una instalación de 4m³ puede costar, aproximadamente, US\$550 y la estructura de polietileno flexible puede alcanzar hasta diez años de vida útil.

Figura 8. **Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno**



Fuente: Fundación Hábitat Colombia.

1.6. **Digestores de alta velocidad o flujo inducido**

Éstos son los utilizados comúnmente en instalaciones industriales o semi-industriales. Generalmente, trabajan a presión constante, por lo que se podrían catalogar como digestores tipo hindú modificado.

Se les conoce como CSTD (*conventional stirred digester*). Se diferencian de los digestores convencionales en que se les ha agregado algún tipo de agitación mecánica, continua o intermitente, que permite al material aún no digerido entrar en contacto con las bacterias activas y así obtener buena digestión de la materia orgánica, con tiempos de retención hidráulica relativamente cortos, de hasta 15 días.

Este es un concepto nuevo dentro de la tecnología de fermentación anaeróbica; combina las ventajas de varios tipos de digestores en una sola unidad, facilitando el manejo y procesamiento de material biodegradable de diverso origen y calidad.

Generalmente los desechos de origen animal, excrementos de cualquier clase, son procesados en digestores convencionales de tipo continuo, que periódicamente reciben carga y entregan por desalojo el efluente ya digerido. El tiempo de operación continua de estos equipos es bastante largo y requiere un mínimo de atención al momento de cargarlos, por ejemplo, evitar introducir elementos extraños tales como: arena, piedra, metal, plásticos o cualquier otro tipo de material lento o imposible de digerir. Luego de unos cuatro o cinco años se debe detener su funcionamiento para hacer una limpieza general y retirar sedimentos indigeridos.

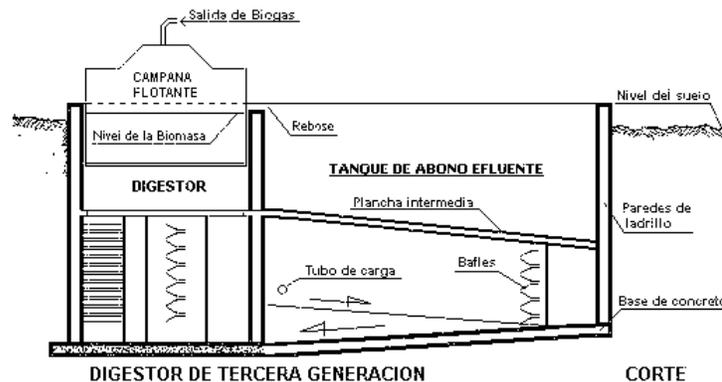
Buscando un tipo de digestor ideal, se llegó al concepto de digestor de segunda y tercera generación siendo los clásicos modelos hindúes o chinos, los de la primera.

Este nuevo modelo de digestor retiene la materia de origen vegetal, que normalmente tiende a flotar, dentro de las zonas de máxima actividad bacteriana, como son las inferiores y la de sobrenadante intermedia, para que las bacterias tengan tiempo de atacar, hidrolizar y procesar efectivamente el material en descomposición; al mismo tiempo permite que los gases y el material parcialmente degradado sigan el recorrido del proceso normal dentro del digestor.

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

El digestor de tercera generación modifica radicalmente al de tipo hindú tradicional, aunque sigue los lineamientos de esta escuela. Ha logrado una eficiencia de trabajo en forma continua, que permite cargarlo con toda clase de materiales, hasta un 50% o 60% de materia de origen vegetal mezclada con excrementos, empleando una sola unidad que trabaja en forma de digestor continuo.

Figura 9. **Biodigestor de tercera generación**



Fuente: Fundación Hábitat Colombia.

1.6.1. **Ventajas de los digestores de alta velocidad o flujo inducido**

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

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

1.6.2. Precauciones a tener en cuenta con los digestores de alta velocidad o flujo inducido

Quando al digestor convencional de tipo continuo se introducen indiscriminadamente materiales orgánicos de origen vegetal, como pasto y hojas de árbol, sobrantes de cosechas o basuras biodegradables, que tienden a flotar en el agua por su alto contenido celulósico, terminan por atascarlo y detener su operación efectiva en poco tiempo, incluso días, dependiendo de la cantidad de material suministrado.

Para evitar taponamientos, la materia de origen vegetal se procesa en digestores convencionales en tandas o carga única (Batch digestors) en ciclos de 60 a 80 días, lo que supone que para el suministro de gas y efluente durante un año, se debe disponer de un mínimo de cuatro unidades con una producción alternada. Estas soluciones representan un alto costo y un gran esfuerzo.

1.7. Instalaciones industriales

Las instalaciones industriales de producción de biogás emplean tanques de metal que sirven para almacenar la materia orgánica y el biogás por separado. Este tipo de planta, debido al gran volumen de materia orgánica que

necesita para garantizar la producción de biogás y la cantidad de biofertilizante que se obtiene, se diseña con grandes estanques de recolección y almacenamiento construidos de ladrillo u hormigón.

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

Para evitar los malos olores se usan filtros que separan el gas sulfhídrico del biogás, además de utilizarse válvulas de corte y seguridad, como también; de tuberías para unir todo el sistema y hacerlo funcionar según las normas establecidas para este tipo de instalación.

La tendencia mundial en el desarrollo de los biodigestores es lograr disminuir los costos y aumentar la vida útil de estas instalaciones, con el objetivo de llegar a la mayor cantidad de usuarios de esta tecnología.

Figura 10. **Biodigestores industriales**



Fuente: Fundación Hábitat Colombia.

Figura 11. **Biodigestores industriales**



Fuente: Fundación Hábitat Colombia.

Figura 12. **Biodigestores industriales**



Fuente: Fundación Hábitat Colombia.

1.8. **Ventajas de los Biodigestores**

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

- Produce biofertilizante rico en nitrógeno, fósforo y potasio, capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más caros y dañan el medio ambiente
- Elimina los desechos orgánicos; por ejemplo, las excretas animales, contaminantes de medio ambiente y fuente de enfermedades para el hombre y los animales

La utilización de los biodigestores, además de permitir la producción de biogás, ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos:

- Mejora la capacidad fertilizante del estiércol. Todos los nutrientes, tales como: nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio así como los elementos menores; son conservados en el efluente. En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en forma de macromoléculas, es convertido a formas más simples como amonio (NH_4^+), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta. Debe notarse que en los casos en que el estiércol es secado al medio ambiente se pierde alrededor de un 50% del nitrógeno
- El efluente es mucho menos oloroso que el afluente
- Control de patógenos. Aunque el nivel de destrucción de patógenos variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85% de los patógenos no sobrevive al proceso de biodigestión. En condiciones de laboratorio, con temperatura de 35°C , los coliformes fecales fueron reducidos en 50%–70% y los hongos en 95% en 24 horas.

1.9. Dificultades técnicas de los biodigestores

La construcción de biodigestores conlleva una serie de dificultades técnicas:

- El digestor debe encontrarse cercano a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo
- Debe mantenerse una temperatura constante y cercana a los 35°C
- Esto puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos
- Es posible que, como subproducto, se obtenga ácido sulfuroso (H_2S), el cual es tóxico y corrosivo, dependiendo del sustrato de partida y de la presencia o no de bacterias sulfato-reductoras. La presencia de ácido sulfuroso (H_2S) hace que se genere menos metano (CH_4), disminuyendo la capacidad calorífica del biogás y encarece el proceso por la necesidad de depurarlo
- Necesita acumular los desechos orgánicos cerca del biodigestor
- Riesgo de explosión en caso de no cumplirse con las normas de seguridad para gases combustibles

2. GENERALIDADES DEL BIOGÁS O PROPIEDADES DEL BIOGÁS

2.1. Energía calorífica

De los principales componentes del biogás, como lo son el metano y bióxido de carbono, podemos determinar su poder calorífico; así, conociendo que el poder calorífico del metano puro es $9,000\text{Kcal/m}^3$ ($9,000 \times 0.6$). Este poder calorífico del biogás lo convierte en un buen combustible que se aprecia, tanto en aplicaciones domésticas (estufas, lámparas, refrigeración, etc.), como en aplicaciones industriales (calderas, motores, etc.).

En la tabla número 1 se puede comparar el biogás con otros combustibles, en cuanto a su poder calorífico.

Tabla I. **Valor calorífico de diferentes combustibles**

| VALOR CALORÍFICO DE DIFERENTES COMBUSTIBLES | |
|---|-------------------------|
| COMBUSTIBLES | VALOR COLORÍFICO (Kcal) |
| Biogás (m ³) | 5,432 |
| Electricidad (kWh) | 860 |
| Keroseno(litros) | 9,100 |
| Carbón (kg) | 6,900 |
| Leña * (kg) | 4,700 |
| Butano(kg) | 10,900 |
| Estiércol vacuno(kg) | 2,100 |
| Propano (m ³) | 22,052 |
| Petróleo (kg) | 11,357 |
| Gasolina (kg) | 10,138 |

*Los datos de leña son valores medios. Dependen del tipo de madera y del grado de humedad que tenga.

Fuente: investigación y desarrollo de energía renovable.

2.2. Entalpia

Son hidrocarburos alifáticos que se dividen en alcanos, alquenos y alquinos. Los alcanos tienen la fórmula general C_nH_{2n+2} , donde $n = 1,2,\dots$. La principal característica de las moléculas de los hidrocarburos alcanos es que sólo presentan enlaces covalentes sencillos. Los alcanos se conocen como hidrocarburos saturados porque contienen el número máximo de átomos de hidrógeno que pueden unirse con la cantidad de átomos de carbono presentes.

Dos compuestos químicos diferentes, con la misma fórmula molecular, se denominan isómeros. El número de alcanos isoméricos aumenta proporcionalmente al número de átomos de carbono. En la tabla II se indican

los puntos de fusión y de ebullición, así como el número de isómeros de algunos alcanos de cadena lineal.

Tabla II. **Hidrocarburos normales**

| Hidrocarburos normales (cadena lineal) | | | | | |
|--|---------------------------------|------------|----------------------|----------|--------|
| Nº de carbonos | Fórmula | Nombre | Nº total de isómeros | p. eb °C | p.f.°C |
| 1 | CH ₄ | Metano | 1 | -162 | -183 |
| 2 | C ₂ H ₆ | Etano | 1 | -89 | -172 |
| 3 | C ₃ H ₈ | Propano | 1 | -42 | -187 |
| 4 | C ₄ H ₁₀ | Butano | 2 | 0 | -138 |
| 5 | C ₅ H ₁₂ | Pentano | 3 | 36 | -130 |
| 6 | C ₆ H ₁₄ | Hexano | 5 | 69 | -95 |
| 7 | C ₇ H ₁₆ | Heptano | 9 | 98 | -91 |
| 8 | C ₈ H ₁₈ | Octano | 18 | 126 | -57 |
| 9 | C ₉ H ₂₀ | Nonano | 35 | 151 | -54 |
| 10 | C ₁₀ H ₂₂ | Decano | 75 | 174 | -30 |
| 11 | C ₁₁ H ₂₄ | Undecano | | 196 | -26 |
| 12 | C ₁₂ H ₂₆ | Dodecano | | 216 | -10 |
| 20 | C ₂₀ H ₄₂ | eicosano | 366319 | 334 | 36 |
| 30 | C ₃₀ H ₆₂ | tricontano | 4.11x10 ⁹ | 446 | 66 |

Fuente: investigación y desarrollo de energía renovable.

Cuando por primera vez se recolectó el gas metano, esto se hizo en los pantanos, razón por la cual se le denominó como “gas de los pantanos”.

Otras de las fuentes de las cuales se puede obtener el gas metano, son las termitas, cuya voracidad en el consumo de madera como su principal fuente de alimentación, origina en su aparato digestivo la generación de microorganismo, carbono y otros compuestos que facilitan la producción de dicho gas. Un aspecto importante de señalar, en cuanto a la utilización de las termitas en la generación de gas metano, es que estos insectos son capaces de

producir hasta 170,000,000 de toneladas anualmente. Por otra parte, a escala comercial e industrial, el metano se obtiene del gas natural.

El gas natural es una mezcla de metano, etano y una pequeña cantidad de propano. El metano, compuesto de carbono e hidrógeno, de fórmula metano (CH_4), es un hidrocarburo, el primer miembro de la serie de los alcanos. Es más ligero que el aire, inodoro e inflamable. Se encuentra en el gas natural (entre un 75% y un 90%), como en el gas grisú de las minas de carbón en los procesos de las refinerías de petróleo y como producto de la descomposición de la materia en los pantanos. Es uno de los principales componentes de la atmósfera de los planetas Saturno, Urano y Neptuno. El metano puede obtenerse mediante la hidrogenación de carbono o dióxido de carbono, por la acción del agua con carburo de aluminio o también, al calentar etanoato de sodio con álcali. El metano es apreciado como combustible y para producir cloruro de hidrógeno, amoníaco, etino y formaldehído.

El metano es el hidrocarburo alcano más sencillo, es un gas. Cada uno de los átomos de hidrógeno está unido al carbono por medio de un enlace covalente. Es una sustancia no polar que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias. Apenas es soluble en agua en su fase líquida.

En la naturaleza se produce como producto final de la putrefacción anaeróbica de las plantas. Este proceso natural se puede aprovechar para producir biogás y puede construir hasta el 97% del gas natural. En las minas de carbón se le denomina grisú y es muy peligroso por su facilidad para inflamarse.

Características químicas: el metano es un ejemplo de compuesto molecular cuyas unidades básicas son grupos de átomos unidos entre sí, 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.

Tabla III. **Propiedades generales**

| PROPIEDADES GENERALES | |
|--|------------------------------------|
| Nombre: | Metano |
| Estructura de Lewis: | |
| H H-C-H H | |
| Fórmula química: | |
| CH ₄ | |
| Peso atómico: | |
| 16.04 uma | |
| Otras denominaciones: | Gas del pantano, hidruro de metilo |
| Cambios de fase | |
| Punto de fusión: | 90.6 K (-182.5°C) |
| Punto de ebullición: | 111.55K (-161.6°C) |
| Seguridad | |
| Efectos agudos: | |
| <p>Asfixia: en algunos casos, inconsciencia, ataque cardíaco o lesiones cerebrales. El compuesto se transporta como líquido criogénico. Su exposición causaría obviamente la congelación</p> | |

Continuación Tabla III

| | |
|---------------------------------|-------|
| Temperatura de auto combustión: | 600°C |
|---------------------------------|-------|

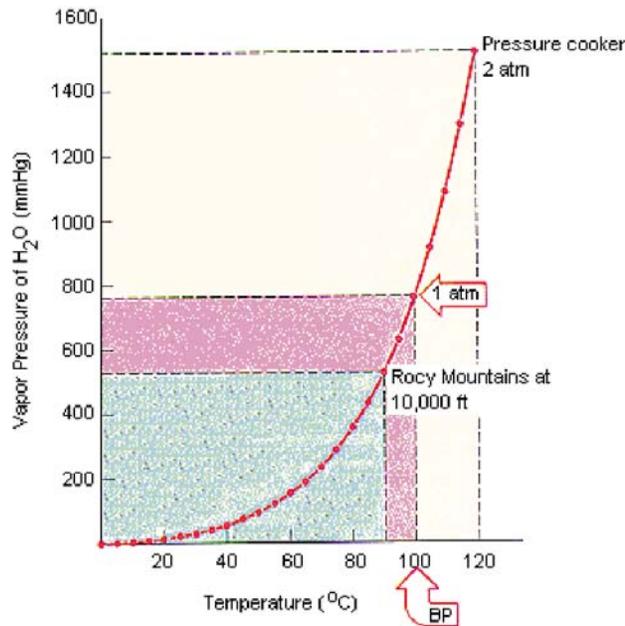
Fuente: características químicas.

2.3. Tiempo de ebullición de agua con combustible propano

Cuando se calienta un líquido alcanza eventualmente una temperatura, en la cual la presión del vapor es lo bastante grande, que se forman burbujas dentro del cuerpo del líquido. Esta temperatura se llama punto de ebullición. Una vez que el líquido comience a hervir, la temperatura permanece constante hasta que todo el líquido se ha convertido en gas.

Pero explicar por qué el agua hierve a 90°C en las montañas o por qué hierve a 120°C en una olla de presión, aunque su punto de ebullición normal es 100°C, primero necesitamos entender por qué los líquidos bullen. Debe quedar claro que se obtiene la ebullición de un líquido, cuando la presión del vapor del gas que se escapa del líquido es igual a la presión ejercida en el líquido por sus alrededores, según lo muestra la figura 13.

Figura 13. **Punto de ebullición del agua en función de la presión de vapor**



Fuente: investigación y desarrollo de energía renovable.

El punto de ebullición normal de agua es 100°C porque ésta es la temperatura a la cual la presión del vapor del agua es 760 mmHg o 1 atm.

Es decir, que bajo condiciones normales, cuando la presión de la atmósfera es aproximadamente 760 mmHg, el cual tiene un punto de ebullición de 100°C. A 10,000 pies sobre nivel del mar, la presión de la atmósfera es solamente 526 mmHg. A esta presión, el punto de ebullición del agua ocurre a una temperatura de 90°C.

Las ollas de presión se equipan con una válvula que permite escapar al gas cuando la presión dentro de la olla excede un cierto valor fijo. Esta válvula tiene comúnmente un valor fijo de 15 psi, lo que significa que el vapor de agua dentro de la olla debe alcanzar una presión de 2 atmósferas antes de que

pueda escaparse. Ya que el agua sólo logra una presión de vapor de 2 atmósferas hasta que alcanza la temperatura de 120°C, la temperatura de ebullición dentro de recipiente es de 120°C.

2.4. Punto de inflamación

Es un combustible gaseoso producido a partir de la biomasa o a partir de la fracción biodegradable de los residuos a través de la fermentación anaeróbica de biomasa húmeda y puede ser purificado hasta alcanzar una calidad similar a la del gas natural, para uso como biocombustible o gas de madera.

Tabla IV. **Punto de inflamación para algunos combustibles**

| COMBUSTIBLE | TEMPERATURA |
|-------------------|-------------|
| ACPM | 52°C |
| Aceite lubricante | 150°C |
| Aceite mineral | 190°C |
| Acetona | -17°C |
| Butano | Cualquiera |
| Combustible | 93°C |
| Gasolina | -42°C |
| Metano | Cualquiera |
| Petróleo | Cualquiera |
| Propano | Cualquiera |
| Queroseno | 42°C |

Fuente: temas de seguridad industrial para especialistas. Indupress ed. Ltda. Colombia, 1998

Tabla V. **Limite de inflamabilidad para algunos combustibles**

| COMBUSTIBLE | LIMITE INFERIOR | LIMITE SUPERIOR |
|---------------------|-----------------|-----------------|
| Acetileno | 2.0% | 81.0% |
| Acetona | 2.0% | 13.0% |
| Alcohol etílico | 4.0% | 19.0% |
| Alcohol metílico | 7.0% | 36.0% |
| Butano | 2.0% | 8.0% |
| Gasolina motor | 1.4% | 7.6% |
| Hidrogeno | 4.0% | 75.0% |
| Metano | 5.0% | 14.0% |
| Monóxido de carbono | 2.0% | 74.0% |
| Petróleo crudo | 2.0% | 10.0% |
| Propano | 2.0% | 10.0% |
| Queroseno | 1.0% | 5.0% |

Fuente: temas de seguridad industrial para especialistas. Indupress. Ed. Ltda. Colombia1998

Limite de inflamabilidad (LI)

Comprende un rango de valores porcentaje de mezcla de un elemento oxidante, en la cual los vapores de productos inflamables pueden encenderse y mantener una combustión a cierta temperatura de ignición.

Existe un límite inferior de inflamabilidad (LII) debajo del cual la mezcla es muy pobre y no enciende. El otro límite es el superior, en el cual la mezcla es muy rica y no enciende. Fuera de estos límites, ya sea por encima o por debajo, la mezcla no enciende, ni existe la posibilidad de que exista y se mantenga la combustión

2.5 Comprensibilidad del biogás

Se define como la cantidad de agua presente en la biomasa, expresada como un porcentaje de peso. Para combustibles de biomasa, este es el factor más crítico, pues determina la energía que se puede obtener por medio de la combustión. Cuando se quema la biomasa, primero se necesita evaporar el agua antes de que el calor esté disponible; por eso, cuanto más alto el contenido de humedad, menos el valor calorífico.

Todos los combustibles contienen una cantidad de agua, pero para la biomasa, los niveles pueden ser altos; esto afecta el valor calorífico y el proceso de combustión. El contenido de humedad puede variar dependiendo del tipo de biomasa, el tiempo entre su cosecha y su uso y la humedad atmosférica. Después de haberla cosechado, paulatinamente ésta perderá humedad hasta que se establezca un equilibrio con el ambiente.

El valor de la humedad se puede indicar según sea con base seca o con base húmeda; con base seca se define como la fracción del peso del agua dentro de la biomasa y el peso del material seco, expresado como porcentaje.

El contenido de humedad con base húmeda es la fracción del peso del agua dentro de la biomasa y el peso total del material. El valor con base humedad siempre es más que con base seca, por lo que es muy importante indicar el método aplicado.

3. BIODIGESTOR SELECCIONADO PARA NUESTRA MEDICIÓN

Fueron seleccionados 2 tipos de biodigestores: el flexible con bolsa plástica y el otro, con un depósito de agua con capacidad de 450 litros, para lograr un rápido proceso en la producción de gas metano para el estudio.

Se hace una fosa con un fondo completamente a nivel, lo más liso posible, de 1.9 metros de hondo y 1.3 metros de ancho en el piso, 1.5 metros de ancho en la parte superior, 5 metros de largo en cada extremo de largo, 30 a 40 cm de ancho, para colocar los tubos terminales o canales que serán la entrada y salida del biodigestor.

Figura 14. **Biodigestor flexible**



Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Lugar del biodigestor flexible**



Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Lugar del biodigestor flexible**



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Biodigestor inflado y representado el tubo B y C de la entrada y salida, respectivamente**



Fuente: elaboración propia.

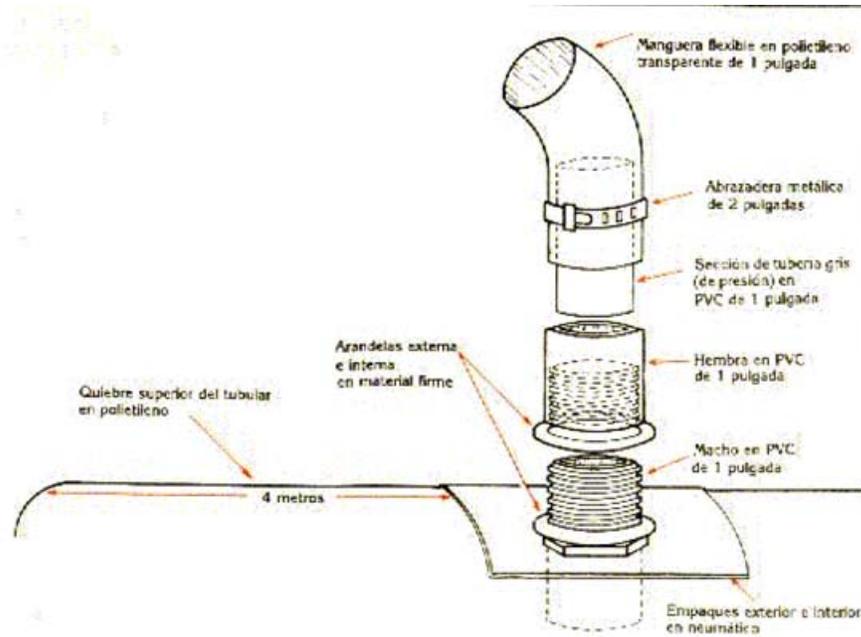
Entonces, hay que tomar en cuenta que para ganado vacuno que se alimenta de grano, probablemente tendrá desechos más favorables a la digestión con la proporción de agua y desechos de 1:1. En el dibujo, B y C representan el tubo de entrada y el tubo de salida, respectivamente. El tubo de entrada debe instalarse en el tanque lo más cerca del fondo y el tubo de salida debe entrar al tanque, justo por debajo de la primera fila de block de cemento.

Para su fabricación se usaron los siguientes materiales:

- 18 metros de tubular en polietileno transparente, calibre 6 (calibre dado comercialmente en décimas de pulgadas), de 1.87 metros de ancho y 2.7 metros de circunferencia
- 2 tubos de concreto de 12 pulgadas de diámetro por un metro de longitud
- 3 metros de manguera flexible en polietileno transparente, de una pulgada de diámetro

- 1 macho en PVC, de ½ pulgada de diámetro
- 1 hembra de PVC, de ½ pulgada de diámetro
- 1 T en PVC, de ½ pulgada de diámetro
- 2 codos de 90° de ½ pulgada de diámetro
- 6 metros de tubería PVC, de ½ pulgada de diámetro
- Para la conducción del gas, manguera de 3/8 en su reemplazo, en ciertas longitudes, para luego ser cambiados por PVC de ½ pulgada de diámetro para llegar al sitio del biodigestor hasta el quemador
- 1 frasco de limpiador y uno de pegante de soldadura para PVC
- 50 centímetros de tubería galvanizada de ½ pulgada de diámetro, rosca en ambos extremos
- 1 codo en tubería galvanizada, de ½ pulgada de diámetro
- 1 llave de paso en bronce de ½ pulgada
- 2 abrazaderas metálicas con capacidad para dos pulgadas
- 1 frasco de pegamento “solución” tangit
- 2 arandelas, preferiblemente en acrílico, fibra de vidrio, material sintético firme o en último caso metálicas, cuyo agujero central permita el ingreso en toda su longitud de la rosca del macho en PVC; su diámetro total debe ser mayor de 10 centímetros y su grosor individual, inferior a 4 milímetros
- 1 lápiz marcador de tinta en color oscuro, un marcador indeleble industrial
- 1 frasco en plástico transparente, sin tapa, de un galón de capacidad
- 2 empaques en neumático usado, de 20 x 20 centímetros, en forma de ruana, ambos con un hueco central de una pulgada que permita la entrada ajustada de la rosca de macho en PVC
- 5 correas en neumático usado, de aproximadamente 5 centímetros de ancho por dos metros de largo

Figura 18. Colocación del macho y hembra en PVC



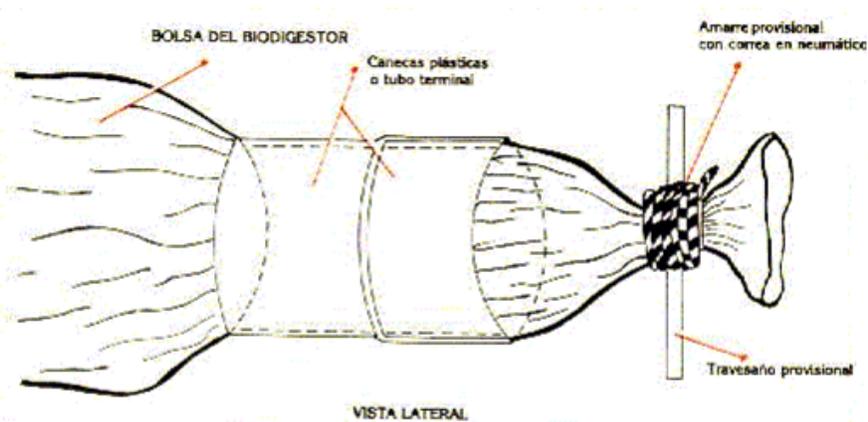
Fuente: Fundación Hábitat Colombia.

Llenado de la bolsa o campana con humo o aire

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

- Amarrar provisionalmente cada punta de la bolsa con una correa de neumático (tubo de llanta) (fig. 19)

Figura 19. **Introducción definitiva y amarre de los extremos del biodigestor**



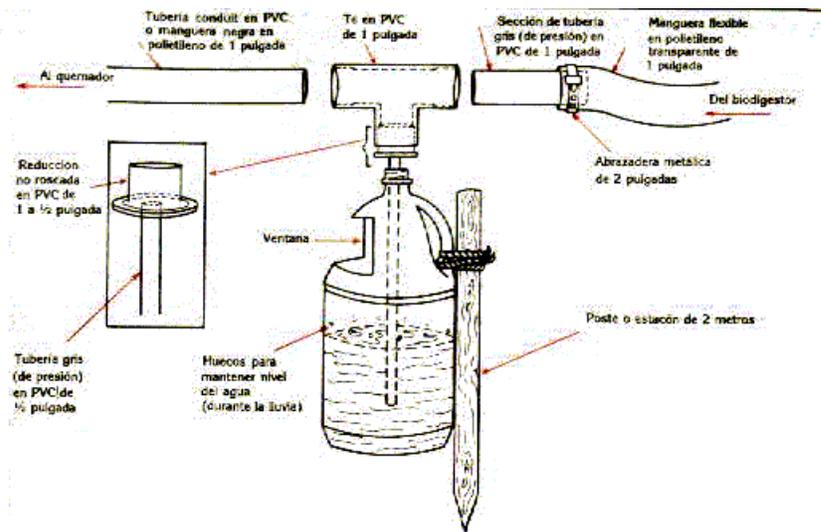
Fuente: Fundación Hábitat Colombia.

- Para inflar la bolsas o biodigestor, tome el extremo libre de la manguera flexible de vinilo transparente de una pulgada de diámetro, agréguele 50 centímetros de tubería galvanizada de media pulgada de diámetro, utilizando correas de neumático enrolladas fuertemente
- Para inflar la bolsa o biodigestor prenda el motor el tiempo necesario para llenarla completamente

Válvula de seguridad

Evite que se rompa la bolsa o campana cuando haya mucho gas por demasiada producción o bajo consumo (fig. 20).

Figura 20. Válvula de seguridad



Fuente: Fundación Hábitat Colombia.

Para construir la válvula de seguridad proceda en la siguiente forma:

- Utilizar un frasco de plástico transparente de un galón de capacidad, sin tapa
- Tomar una T en PVC de una pulgada
- Pegar, al extremo de la mitad de la T, una reducción de PVC de una a media pulgada
- Agregar un tubo de 25 centímetros de PVC de media pulgada
- Al frasco de plástico hacerle una ventana en su parte superior, para agregar agua cuando falte

- También hacerle huecos en la mitad de su altura para mantener el nivel de agua aún en época de lluvia
- Introduzca el tubo de 25 centímetros de largo en el frasco de plástico, de tal manera que penetre en el agua por lo menos tres centímetros. Así cuando haya exceso de producción de gas, éste sale a manera de burbujas
- Los otros dos extremos superiores de la T son los tubos de entrada de biogás proveniente de la bolsa o biodigestor y el otro es la salida en dirección hacia el quemador o fogón
- De la punta de la T que va a la bolsa, pegue un tubo de PVC de una pulgada por 25 centímetros de largo, al cual debe unirse el extremo libre de la manguera
- Al lado de la fosa clave un estacón o poste que tenga por lo menos 1.50 metros de altura sobre el nivel de suelo
- Fije al estacón y en su extremo superior, amarrado muy bien con la ayuda de una correa de neumático, la válvula de seguridad o frasco de plástico transparente de un galón

Llenado de la bolsa del biodigestor con agua

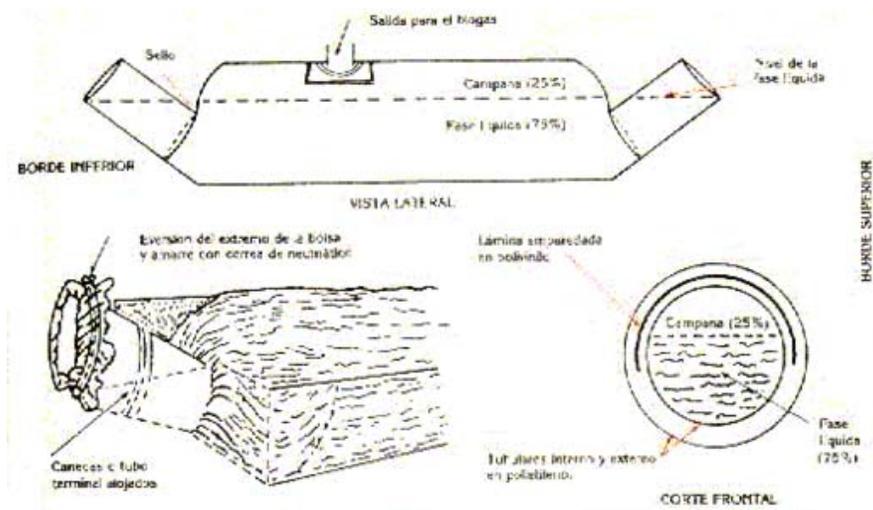
- El primer llenado de la bolsa puede hacerse con agua sola o con agua a la que se haya agregado estiércol de los distintos animales de la finca
- Recuerde que la bolsa debe quedar sin arrugas antes de iniciar el llenado y la raya que se trazó en la lámina de polivinilo debe verse en la mitad de la fosa
- La válvula de seguridad debe estar conectada a la salida del biodigestor
- Con un taco de madera envuelto de plástico, tape o selle la salida de la válvula de seguridad que va hacia el quemador

- Meta una o dos mangueras por una de las puntas de bolsa para llevar el agua hasta ella, cuidando amarrarla otra vez para evitar que se escape el gas; este saldrá lentamente por la válvula de seguridad a medida que se va llenando con el agua o la mezcla de agua y estiércol.

Así se evita que la bolsa o campana del biodigestor se rompa.

- Llenar la bolsa hasta 75% de su capacidad, la cual se alcanza cuando el agua llega hasta el borde inferior de las canecas o codos de la salida y entrada del biodigestor (fig. 21).

Figura 21. **Biodigestor alojado en la fosa**



Fuente: Fundación Hábitat Colombia.

- Quitar las correas de neumático y las mangueras
- Doblar muy bien y hacia afuera, los 50 centímetros sobrantes en cada extremo de la bolsa de polietileno
- Amarrar bien alrededor de las canecas de salida y entrada de la bolsa, con correas de neumático
- Acomodar las canecas o tubos en las zanjas de los extremos de la fosa

- Para sostener las ollas utilice una lata redonda, vacía (de galletas o de leche en polvo) o un quemador, al cual se le debe colocar una parrilla por encima
- Cuando utilice un tarro de lata como quemador, ábrale huecos en la parte alta y alrededor de las paredes, lo cual permite la entrada de aire necesario para la combustión

Producción y consumo del biogás

- Después de 30 a 35 días de iniciada la carga diaria de la bolsa o campana, puede esperar la producción de biogás, la cual puede llegar a 900 litros diarios.

Utilice el líquido espeso o abono orgánico

- Le servirá como abono para los cultivos o como alimento para peces
- Su uso mejora los suelos arenosos o arcillosos, que sean pobres en capa orgánica
- También puede utilizarse como alimento de los animales (vaca o cabras), añadiéndole miel para hacerlo más apetitoso y además, rico en elementos nutritivos

Protección del biodigestor

- Construya a todo lo largo de la bolsa o biodigestor, utilizando madera redonda o guadua, un techo o parrilla que evite la llegada directa de rayos de sol y la caída de animales al foso
- Cerque con alambre de púas el sitio del biodigestor, para evitar la entrada de animales

- Siempre maracuyá o badea para que el techo sostenga la enredadera y dé sombra al biodigestor
- En épocas de lluvia tape las bocas de entrada y salida del biodigestor, para evitar que penetre el agua que daña la mezcla de agua y estiércol
- Evite también el paso de piedras o sobrantes de pasto al biodigestor

3.1. Depósito de agua (tinaco)

Para realizar este proyecto se utilizó un “tinaco” con capacidad para 450 litros; sin embargo, esto no significa que no se pueda utilizar otros de mayor tamaño, lo que provocaría el cambio de las proporciones de desechos sólidos a utilizar, así como la cantidad de agua con la que se haría la mezcla.

Para obtener un buen resultado, el tinaco debe ser ubicado en un lugar propicio y a la intemperie, lo cual no perjudica al material con el cual está fabricado el depósito.

Para su fabricación se compró lo siguiente:

- 3 metros de PVC de ½ pulgada de diámetro
- 1 macho y hembra en PVC de ½ pulgada de diámetro
- 1 T en PVC de ½ pulgada de diámetro
- 2 codos de 90°, de ½ pulgada de diámetro
- Utilización de pegamento para PVC
- 1 llave de paso de ½ pulgada
- 1 manómetro

Y para drenarlo tiene colocado una llave de 1 pulgada en la parte de abajo.

Figura 23. **Biodigestor en un tinaco**



Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Llave de salida del desecho**



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Llave de salida del gas y manómetro**



Fuente: elaboración propia.

Materiales y métodos

Para la elección del diseño se tomó en cuenta:

- a) Inversión que se puede realizar
- b) Energía que se quiere obtener
- c) Los materiales con que se cuenta(biomasa)
- d) El tamaño del digestor
- e) La simplicidad que se quiere lograr en el manejo
- f) Uso de efluente del biodigestor
- g) Temperaturas medias del lugar donde se instalará

Para dimensionar el digestor se partió de la cantidad de gas que diariamente se desea obtener de digestor ya dimensionado. Para una determinada temperatura de funcionamiento, se calculó la cantidad de material a introducir por día y posteriormente, se verificó si alcanza la biomasa

disponible. Para el diseño de la planta de biogás se tuvo en cuenta algunas consideraciones, desde el punto de vista tecnológico-constructivo, para garantizar la menor inversión de recursos materiales por parte de los beneficiarios. Para ello, se realizaron los cálculos para un tinaco de 450 litros de capacidad.

Metodología para el cálculo

Volumen de biogás necesario igual a (V_{bn}), en m^3 al día, representándose simbólicamente así

$$V_{bn} = V_{bnc} \times n_p$$

De donde:

V_{bnc} significa: volumen de biogás diario, necesario para la cocción, por persona, que equivale a (0.20 a 0.3 m^3 / día –persona)

n_p significa: número de personas.

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

$$V_{ba} = 0.10 \times V_{bn}$$

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

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

Volumen necesario del digestor (V_{nd}), en m^3

$$V_{nd} = 1.4 \times V_{br}$$

Volumen del digestor preseleccionado (V_{dp}), en m^3

$$V_{dp} = \frac{\pi d^2}{4} \times h$$

De donde:

d- diámetro del tubo de alcantarillado (800mm), en m.

h- altura del tubo de alcantarillado (1500mm), en m.

Comparación entre el volumen del digestor necesario y el volumen del digestor preseleccionado

$$V_{dp} \approx V_{dn}$$

Coeficiente de comparación geométrica (cg).

$$cg = \frac{h}{d}$$

De donde:

Cg- su valor debe encontrarse de 0.4 a 1.4.

Volumen de almacenamiento de biogás (Vab), en m³

$$V_{ab} = 0.6 \times V_{br}$$

Peso de la campana (Gc), kg

$$G_c = P_g \times A_c$$

De donde:

Pg- presión de salida del gas (Pg = 1200 a 3000Pa).

Cantidad de excreta total para la carga inicial (Cet), en kg

$$C_{et} = 500 \times V_{dp}$$

Volumen de carga diaria (Vcd), en m³

$$V_{cd} = \frac{V_{dp}}{Tr}$$

De donde:

Tr – Tiempo de retención (20 a 30días), en días.

Cantidad de excreta diaria (Ced), en kg

$$Ced = 500 \times Vcd$$

Cantidad de biofertilizante diario producido (Cbp), en kg

$$Cbp = Ced$$

4. PRUEBAS CON EL BIOGÁS EN ESTUFA

4.1. Adaptación de estufa a biogás

Ésta es otra de las aplicaciones del biogás que ha tenido mucho éxito en el área rural, ya que en los casos donde ha sustituido combustibles tradicionales como la leña y el propano; se ha dado la aceptación por los siguientes motivos:

- La adquisición de leña en el área rural es cada día más difícil y a costos muy elevados, lo cual es un buen motivo para aceptar el biogás
- La cocción de alimentos con leña da muchos problemas a las amas de casa, principalmente con el humo y las altas temperaturas
- La sustitución de propano por biogás ha tenido gran aceptación, principalmente por los altos costos de este combustible tradicional, en los últimos años

4.2. Utilizando propano y biogás

La experimentación que a continuación se describe se llevó a cabo para ver cómo se comporta el equipo diseñado para funcionar con gas propano, adaptándolo con biogás, tal como una estufa.

Equipo utilizado para la experimentación: 1 hornilla doméstica de marca Tropigás, que fue adaptada a biogás.

Figura 26. **Llama del biogás**



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Llama del biogás**



Fuente: elaboración propia.

5. PRUEBAS DE BIOGÁS EN UN MOTOR DE UN CILINDRO CICLO OTTO

A continuación se listan las acciones a tomar en cuenta para poner en marcha el motor adaptado a biogás:

- Primero: verificar la presión del biogás.
- Segundo: en el arranque y durante el calentamiento del motor se deberá utilizar gasolina, de 3 a 5 minutos, según las condiciones ambientales.
- Tercero: una vez puesto en marcha y calentado el motor a gasolina, antes de hacer el cambio de gasolina a biogás, se deben ajustar las revoluciones del motor para mantener acelerado (aproximadamente a 3600RPM). La razón es que resulta más fácil hacer el cambio de gasolina a biogás con el motor acelerado, que a bajas revoluciones. Una vez hecho el cambio se podrá ajustar a las revoluciones requeridas.
- Cuarto: luego se cierra el paso de gasolina al carburador. Esperar que se termine la gasolina del carburador y, en el momento en que el motor esté por detenerse, se abre el acceso de biogás al motor. Esto debe realizarse lentamente con la válvula de suministro y así se evitará que el motor succione demasiado biogás y se detenga por una mezcla (aire y biogás) demasiada rica.

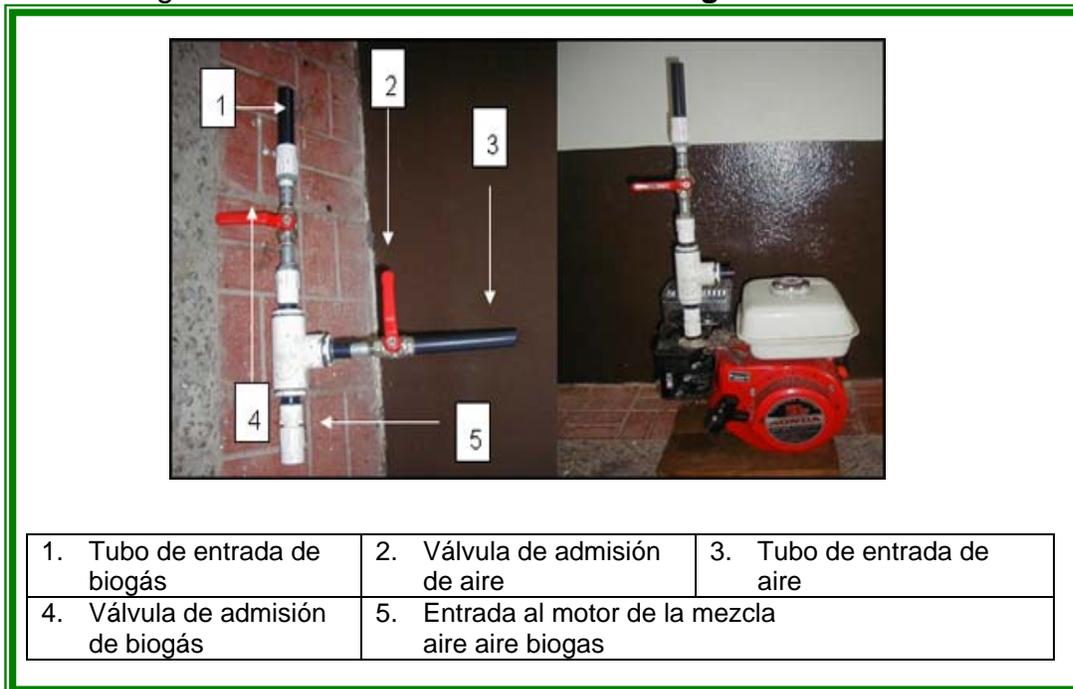
- Quinto: cerrado el suministro de gasolina, la apertura de la válvula de suministro de biogás será de acuerdo a las necesidades demandadas por el motor.

Motor de gasolina

La metodología para la adaptación de motor de gasolina consistió en la elaboración de una pieza que permitiera la introducción de una mezcla de biogás aire a cilindro del motor (Figura 28), para lo cual se utilizaron materiales, en su mayoría de PVC, ya que éstos son de fácil obtención y de bajo costo.

Para la realización de la prueba del uso del biogás en el motor de gasolina de cuatro tiempos, se utilizó un motor marca Raybar de 6.5 HP, de 196 cm³ (Figura 28).

Figura 28. **Instalación de tubería de gas metano al motor**



Fuente: elaboración propia.

5.1. Eficiencia del biogás

En el cuadro se listan los artefactos en los que puede aplicarse el biogás, así como su eficiencia y consumo medio.

Tabla VI. Eficiencia de biogás

| ARTEFACTO | CONSUMO | RENDIMIENTO (%) |
|--------------------------|---|-----------------|
| Quemado de cocina | 300 – 600 l/h | 50 - 60 |
| Lámpara a mantilla (60W) | 120 – 170 l/h | 30 – 50 |
| Heladera de 100 L | -30 – 75 l/h | 20 – 30 |
| Motor a gas | 0.5 m ³ / kWh ó Hph | 25 – 30 |
| Quemador de 10 Kw | 2 m ³ /h | 80 - 90 |
| Infrarrojo de 200 W | 30 l/h | 95 – 99 |
| Cogenerador | 1 Kw elect 0.5 m/ kwh 2kW térmica | Hasta 90 |

Fuente: diferentes aplicaciones del biogás.

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

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

Estos equipos funcionan bajo el principio de la absorción (generalmente de ciclo amoníaco refrigerante – agua absorbente). Recientemente se han desarrollado equipos para el enfriamiento de leche y/u otros productos agrícolas, lo que abre un importante campo de aplicación directa y rentable del biogás.

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

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

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

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

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

Los sistemas de cogeneración buscan la mayor eficiencia en el aprovechamiento de la energía contenida en el biogás.

En estos casos, la potencia mecánica provista por el eje del motor es aprovechada para generar electricidad a través de un generador. Simultáneamente, y por medio de una serie de intercambiadores de calor ubicados en los sistemas de refrigeración (agua y aceite), del motor y en la salida de los gases de escape, se recupera la energía térmica liberada en la combustión interna. De este modo se logra un mejor aprovechamiento de la energía.

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

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

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

Estos problemas están tomando relativa importancia debido a lo avanzado en la difusión de la tecnología del GNC.

5.2. Comparación del biogás con un ciclo Otto

Para evaluar el comportamiento de un motor de gasolina a biogás, se efectuaron ensayos comparativos, utilizando gasolina como combustible convencional y biogás como combustible alterno. El biogás como combustible alterno en motores de combustión interna encendidos por chispa, únicamente puede ser aprovechado para el funcionamiento de los motores de cuatro tiempos, ya que los motores de dos tiempos no se pueden adaptar a biogás; en éstos, el combustible debe ir mezclado con el aceite que lubrica las partes móviles del motor.

La adaptación es sencilla (ver figura 28). Una vez efectuada, el motor podrá utilizar biogás, sustituyendo a 100% el uso de gasolina. Pero el motor puede utilizar gasolina cuando el biogás falte por alguna razón.

La adaptación es fácil y consiste en modificar una sección del motor que comprende entre el filtro y el múltiple de admisión; la modificación hace que ingrese una mezcla de aire y biogás. La adaptación puede efectuarse en una de las siguientes partes sin quitar el carburador:

- En el filtro de aire
- Entre el filtro del aire y el carburador
- En el carburador si este lo permite
- Cuando posee ventilación positiva del cárter, alimentar el biogás por la tubería de entrada de gases al carburador.

En este trabajo de tesis se optó por efectuarlo entre el filtro del aire y el carburador, por la facilidad de introducir el biogás sin mayor complicación.

No se requiere alta presión para introducir el biogás previamente mezclado con el aire a los cilindros, ya que la misma succión del motor (carrera de admisión), permite la entrada de los mismos. Sin embargo, es necesario que la presión se conserve constante.

| | |
|---------------------------|------------------------------|
| Marca: | Raybar |
| Tipo: | 4 tiempos, enfriado por aire |
| Potencia: | 6.5 Hp |
| Revoluciones de servicio: | 3600 RPM |
| Sistema de encendido: | magnético |
| Arranque: | manual |

5.2.1. Potencia

La potencia es la capacidad de una máquina para realizar trabajo por unidad de tiempo. La medición de la potencia en un motor es de importancia básica a determinar su capacidad de producción.

Potencia del motor utilizando biogás

Los motores a gasolina son motores de combustión interna y por tener una baja relación de compresión, no se puede aprovechar todo el potencial calorífico del biogás. Se lograría si al motor se le incrementara su relación de compresión, pero se necesita realizar modificaciones especializadas y también daría problemas cuando por alguna razón faltara el biogás, pues el motor ya modificado sólo funcionaría con éste y no con gasolina.

En el motor adaptado a biogás utilizado en las pruebas, se pudo observar que la potencia se ve disminuida, en promedio, respecto a la que se obtiene cuando funciona con gasolina. Por lo que la adaptación de motores de combustión interna de cuatro tiempos, accionados por gasolina a biogás, tiene el inconveniente de que la potencia útil del motor se reduce. Sin embargo, por tratarse de combustible barato y de fácil adquisición contribuye a reducir el uso de combustibles derivados del petróleo.

5.3. Posibles daños en el motor

Se tratará sobre los posibles daños en el motor, por el uso del biogás como combustible alternativo, debido a la presencia del ácido sulfhídrico H₂S.

5.3.1. Contaminación del aceite lubricante

El aceite lubricante en el motor de combustión interna debe satisfacer las siguientes funciones:

- Reducir la fricción, que causa desgaste y pérdida de potencia al formar una película entre las partes móviles y disminuir el calentamiento por rozamiento
- Contribuir a sellar los espacios existentes entre los pistones, anillos y cilindros, impidiendo pérdidas de compresión y combustión
- Enfriar, pues el lubricante ayuda a “acarrear” y alejar el calor de las partes móviles del motor
- Proteger contra óxido y la corrosión
- Facilitar el arranque

El aceite nuevo dentro del motor es claro y limpio. Con el uso, generalmente adquiere un color obscuro y sucio. El aceite se contamina durante el trabajo del motor cuando:

- Las partículas de impurezas como hollín, resultado de la combustión de la mezcla aire y combustible, contaminan la capa de aceite en las paredes del cilindro, haciéndolo negro y rasposo; finalmente escurren a depósito de aceite en el cárter. También las partículas de impurezas de desgaste de las partes del motor se mezclan con el aceite
- La suciedad y polvo de la atmósfera absorbidos por el motor con el aire, en el recorrido de succión, puede penetrar en el aceite
- Al condensarse el vapor de agua en las paredes interiores del depósito de aceite, por la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del depósito. Esto sucede cuando el motor trabaja muy frío o no calienta lo necesario. Esta agua cae al depósito de aceite
- Al utilizar el ahogador cuando el motor está frío, haciendo que la mezcla sea muy rica en combustible; una parte pasa a los pistones y anillos y diluye el aceite. Este aceite diluido ya no lubrica convenientemente al perder viscosidad
- El ácido sulfhídrico (H_2S) del biogás que logra pasar a través de los pistones y anillos hacia el cárter tiende a acidificar el aceite. Como el ácido sulfhídrico (H_2S) es el que más daño produce, se recomienda reducir el tiempo de uso del aceite lubricante

Cuando se decide sobre un periodo de cambio de aceite hay que tomar en cuenta los cambios químicos y la cantidad de contaminación. La viscosidad es el criterio principal, cuando éste aumente por un grado SAE o disminuya en la misma magnitud.

No debe confundirse estos cambios permanentes de viscosidad con los cambios reversibles de viscosidad cuando el aceite se calienta. El aceite regresa a su viscosidad original cuando la temperatura baja a su valor original.

5.3.2. Corrosión

El ácido sulfhídrico (H_2S) es un gas incoloro altamente tóxico y más pesado que el aire. Es necesario eliminarlo en un alto porcentaje, ya que al mezclarse con el agua resulta altamente corrosivo: ataca a metales como el cobre, el hierro, etc.

La presencia de ácido sulfhídrico (H_2S) y el agua en el biogás resulta dañina. El primero produce un efecto de corrosión y el segundo, mala combustión. Por tales razones, el biogás debe ser purificado antes de ser usado. La purificación tiene por objeto eliminar o disminuir en un alto porcentaje el ácido sulfhídrico (H_2S) y a la reducción del contenido del agua presente en el biogás.

El biogás tiene un olor muy desagradable (similar al huevo podrido). Debido a esto es fácil detectar fugas, principalmente en espacios cerrados, ya que el olor delata su presencia. A partir de 100 ppm provocar tos, irritación de los ojos y pérdida del olfato, pudiendo conducir a la muerte en exposición de 8 horas. A partir de 600 ppm provoca inconsciencia instantánea. Existen riesgos y peligros al entrar en contacto con este gas mortal que muchas personas desconocen; por lo que, en lo posible “debe evitarse comprobar con el olfato si se está produciendo biogás en un biodigestor”, aunque hasta el momento en ningún biodigestor se ha reportado una concentración alta de ácido sulfhídrico (H_2S) y tampoco se espera que ocurra.

CONCLUSIONES

1. En la actualidad se busca un combustible que pueda satisfacer las necesidades energéticas, como poder usar un sistema de calefacción o colocar estufas a gas en nuestros hogares, pero los combustibles que se utilizan como el petróleo, la leña, el carbón o el kerosene, resultan no ser muy económicos y a la vez son contaminantes. Por eso ahora ha llegado un combustible nuevo a nuestro país, el gas natural. Este gas no requiere de plantas de refinación para procesarlo, en comparación con el petróleo; es más seguro, económico y posee menor proporción de impurezas o gases tóxicos. Con el gas natural podemos cuidar nuestra salud, la de nuestra familia y la de nuestra ciudad.
2. El biodigestor es económico en su fabricación y funcionamiento correcto, permite realizar ensayos a pequeña escala con diversos materiales. Su uso en investigación permitirá desarrollar nuevos proyectos de investigación.
3. El gas generado puede satisfacer las necesidades de calefacción, iluminación y energéticas de pequeños establecimientos rurales y el sobrante de la digestión es un excelente fertilizante rico en materia orgánica. El prototipo fabricado deberá adaptar algunas mejoras al proceso de almacenamiento y consumo del gas generado. Por otra parte, se tratará de conseguir un analizador de gases para saber la composición y relación exacta de los gases generados.

RECOMENDACIONES

1. El tanque puede hacerse con cemento, pero en este caso los costos subirían; sin embargo, para economizar se puede hacer en tierra, siempre que ésta sea altamente arcillosa, esto evita los altos costos de los materiales. También puede hacerse en un depósito de agua, para su mejor colocación.
2. Utilizar hornillos de barro para conservar el calor generado por la combustión del biogás durante la cocción de los alimentos, lo que proporcionaría un importante ahorro de tiempo y combustible en la comunidad.
3. Difundir la producción y uso del biogás en todas las zonas rurales de la provincia y el país donde existan condiciones adecuadas para ello (biomasa para alimentar los biodigestores, condiciones locales para la construcción y explotación de la instalación).

BIBLIOGRAFÍA

1. CAPPATO, Jorge. Director General. "Fundación proteger género", Leonardo Hugo. Grupo Tecnología Socialmente Apropriada. [28 febrero de 2007. Disponible en Web: <http://www.proteger.org.ar/tecnologia>.
2. ENERGÍAS RENOVABLES, planeta neutro, Blog personal sobre las energías del futuro [en línea] [11 de mayo 2009] <http://www.renovables-energia.com>.
3. RAYMOND CHANG, Williams. *Química 7ª* ed. Collage. Colombia Mcgraw Hill año 2002 Impreso en Colombia p 977
4. RODRÍGUEZ, W. Datos climáticos. Informe: resumen del período Recibido 21 de enero 2007. Aceptado 11 de diciembre 2007 (documento electrónico). Estación meteorológica, Universidad EARTH. Guácimo, CR. Disponible en Web: <http://www.fao.org/docrep/t0541e/t0541e00.htm>
5. *Rural Costa Rica*. Catálogo [en línea]: [25 de mayo de 2008] disponible en inglés en <http://www.ruralcostarica.com>.