

TECNOLOGÍA DEL BIOGAS

Compilador: Juan Pablo Silva Vinasco
Universidad del Valle-Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente
e-mail:pablosil@mafalda.univalle.edu.co

INTRODUCCIÓN

Los sistemas integrados para el ciclado y la recuperación de recursos y mejora en las condiciones de saneamiento de una zona deben considerar como eje central del sistema un digester anaerobio

Uno de los objetivos principales para el establecimiento de biodigestores es que ellos se constituyen en una valiosa alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos presentes en las aguas residuales ya que previene la contaminación de los cuerpos de agua y al mismo tiempo suministra un gas combustible(fundamentalmente metano) que puede emplearse para satisfacer la demanda de energía de una comunidad y un efluente que puede ser utilizado como fertilizante.

El biogás es empleado fundamentalmente en la generación eléctrica, en motores para bombas de agua, alumbrado, en la cocción de alimentos y equipos de refrigeración. El efluente en el riego de pasturas y en la generación de biomasa cuando es sometido a postratamiento en lagunas ducweed.

El tratamiento de excremento de animales y humanos en sistemas de Biogás mejora las condiciones de saneamiento para los propietarios de la planta, sus familias y la comunidad entera ya que el contenido inicial de patógenos del excremento se reduce apreciablemente debido a los procesos de fermentación.

Infortunadamente en la implementación de la tecnología del Biogás se han presentado dificultades relativas al manejo y operación de los biodigestores, uso del biogás, pobre selección de reactores, escasez de aceptación sociocultural entre otros. Estas dificultades han conllevado al mal uso de la tecnología e inclusive a su abandono en algunas regiones(ISAT, 1998).

El material que aquí se presenta ofrece una compilación referente a los aspectos básicos de la tecnología del biogás, que se debe tener en cuenta al momento de proyectar una instalación y algunos criterios de diseño y operación, con el propósito de buscar una revalidación y afirmación de esta tecnología tan importante en el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades.

1. FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

1.1 Generalidades del Biogás

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

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

El método más común de producción de biogás es la digestión anaeróbica en un tanque cerrado llamado 'biodigestor'. La biomasa se mezcla en el digestor con agua para formar una suspensión, en la cual la digestión anaeróbica se realiza en dos pasos. En el primer paso, llamado licuefacción, la materia orgánica es descompuesta por hidrólisis enzimática y fermentada para producir principalmente ácidos y alcoholes. Seguidamente, en la etapa de gasificación, las bacterias metanogénicas rompen los ácidos y los alcoholes, para producir metano y dióxido de carbono, nitrógeno y ácido sulfhídrico. El diagrama de la figura 1 indica las diversas etapas de la digestión anaerobia.

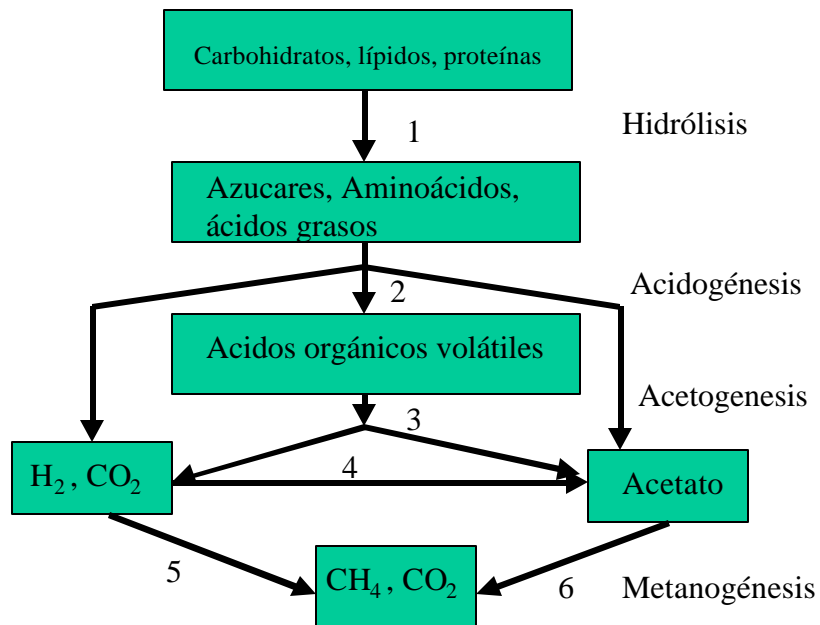


Figura 1. Etapas de la Digestión Anaerobia

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

El biogás contiene aproximadamente un 60% de metano y 40% de dióxido de carbono; la pequeña cantidad de ácido sulfhídrico da al gas un olor de huevos podridos. El valor calorífico del biogás es 20 – 30 MJ de energía calórica por m³ de gas. La tabla 1 resume la composición química del biogás.

Tabla 1. Composición bioquímica del biogás

COMPONENTE	FÓRMULA QUÍMICA	% VOLUMEN
Metano	CH ₄	60-70
Gas Carbónico	CO ₂	30-40
Hidrógeno	H ₂	1.0
Nitrógeno	N ₂	0.5
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxígeno	O ₂	0.1
Acido Sulfhídrico	H ₂ S	0.1

1.2 Beneficios obtenidos en la aplicación de la tecnología del biogás

Las principales razones que pueden llevar a la implementación de la tecnología del biogás son:

- Obtener una fuente de energía económica que permita disminuir costos asociados al consumo de la energía eléctrica o sistemas de gas convencionales.
- Reducción de olores: los sistemas de biogás reducen los olores ofensivos especialmente en aquellas zonas donde se producen y manejan grandes cantidades de estiércol debido a la explotación de ganado. Los sistemas de biogás reducen estos olores debido a que los ácidos orgánicos volátiles que causan los compuestos generadores de olor son consumidos por las bacterias productoras de gas.
- Fertilizante de alta calidad. En el proceso de digestión anaerobia, el nitrógeno orgánico en el estiércol se convierte en gran proporción a amoníaco, el constituyente básico de fertilizante comercial, que es fácilmente disponible y utilizado por las plantas.
- Reducción de la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. El efluente del digestor es un producto más uniforme y manejable que el estiércol no tratado. La alta cantidad de amoníaco permite una mejor utilización de los cultivos y permite mejorar las propiedades físicas de los suelos. Una aplicación apropiada del efluente del digestor reduce la contaminación de aguas superficiales o subterráneas.
- Reducción de patógenos El calentamiento que ocurre en los digestores reduce las poblaciones de patógenos rápidamente en pocos días.

La recuperación de biogás mejora los rendimientos económicos mientras mejora la calidad del medio ambiente. Maximizando los recursos de la granja de tal manera que puede probarse que es competitiva y considerarse como una alternativa sostenible para la industria ganadera.

2. Parámetros de operación de los Sistema de Generación de biogás

Los procesos bacterianos y enzimáticos de la digestión anaeróbica son sensibles a variación en temperatura, contenido de agua, y composición general de la mezcla en el biodigestor. El biogás se produce únicamente si se excluye el aire del digestor de forma tal que se pueda desarrollar la condición anaeróbica. En consecuencia, el tanque del digestor debe estar herméticamente cerrado.

Contenido de agua de la mezcla

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

Si se usa primordialmente excreta humana y orines, estiércol y desechos de agricultura como alimento para el digestor, entonces la razón de biomasa a agua debe estar entre 1:1 y 1:2. Por consiguiente por cada 100 Kg. de heces y orina se requieren entre 100 y 200 litros de agua. Si el material de alimento consta principalmente de residuos vegetales, se requiere de más agua, en una razón de 1:3 o 1:4.

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

Temperatura y período de retención

La temperatura de la mezcla en el digestor es un factor importante para la eficiencia del proceso de digestión. La mayoría de las bacterias anaeróbicas funcionan mejor en el rango de 30 a 35 °C y esta es temperatura óptima para la producción de biogás. La temperatura en el tanque digestor siempre debe estar por encima de 20 °C, porque a temperaturas menores, se produce poco biogás y por debajo de 10° C la digestión cesa completamente.

Períodos de retención de 10 a 25 días para la mezcla en el tanque digestor son usuales para la mayoría de países tropicales. Si las temperaturas ambientes son altas, por ejemplo, en promedio entre 30 y 35° C, puede ser suficiente un período de retención más corto, de 15 días. En climas más fríos, son comunes periodos de retención más largos, de 80 a 90 días. En el caso de desechos de ganado porcino que son ricos en ácidos volátiles se necesitan de 10 a 15 días; los excrementos de bovinos que contienen compuestos de difícil descomposición requieren mínimo de 20 días de digestión.

Acidez/Alcalinidad de la mezcla

Las bacterias metanogénicas son muy sensibles a las variaciones en acidez/alcalinidad (pH) de la mezcla del digestor. Para un funcionamiento óptimo, el valor del pH de la mezcla debe mantenerse dentro del rango de 6.8 a 7.5, esto es, neutral a ligeramente alcalino. El valor del pH puede ser determinado con bastante precisión con una prueba

de papel de litmus una muestra del agua. Durante el proceso de digestión, se producen ácidos orgánicos, y si no se controlan, la mezcla en el tanque puede gradualmente tornarse ácida, lo que puede inhibir los procesos bacterianos y enzimáticos en el biodigestor. La regulación del pH en el rango deseado se logra agregando regularmente a la mezcla materiales alcalinos, tales como cal o cenizas.

Nutrientes

El nitrógeno es esencial para el crecimiento y la actividad de las bacterias. La materia prima que contiene una baja razón carbono/nitrógeno es digerida fácilmente, pero los residuos agrícolas leñosos tales como la paja de trigo o de arroz (ver tabla 2), requieren un suministro de nitrógeno para una digestión eficiente.

Tabla 2: Relaciones Carbono/Nitrógeno de materias primas de sistemas de biogás

MATERIA PRIMA	RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO
Paja de trigo	87:1
Paja de arroz	67:1
Estiércol fresco de ganado	25:1
Heces humanas frescas	3:1

El alto contenido de celulosa de los pastos y residuos agrícolas hace que sean difíciles de digerir. Las heces humanas y orines, y también los desechos de animales son ricos en nitrógeno y nutrientes necesarios para el crecimiento y multiplicación de las bacterias anaeróbicas. Para una producción óptima de biogás, se deben alimentar los diversos tipos de biomasa en proporciones cuidadosamente balanceadas y mezcladas. Se recomienda que la razón carbono/nitrógeno de los materiales combinados de alimentación sea mantenida menor de 30:1. Un resumen de los rangos óptimos de los parámetros para la producción de biogás está dado en la tabla 3.

Tabla 3. Rangos óptimos de los parámetros de producción de biogás

PARÁMETRO	RANGO ÓPTIMO
Temperatura(° C)	30-35
PH	6.8-7.5
Relación C/N	20-30
Tiempo de Retención (días)	10-25*
Relación agua/Sólidos	6-10

* Países tropicales temperaturas en rango óptimo.

3. PROYECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN DE BIOGAS

En la fase de planeación de los sistemas de generación de biogás deben chequearse aspectos relacionados con la continuidad en el suministro de biogás, la calidad, el uso, la operación y mantenimiento del sistema.

La continuidad y calidad se relacionan directamente con el tipo, la cantidad y el manejo de la biomasa disponible para alimentar el sistema, una cantidad insuficiente de biomasa limita la eficiencia de generación de biogás.

Las necesidades de energía deben establecerse para determinar el uso potencial del biogás generado y optimizar el aprovechamiento del sistema.

Aspectos relacionados con la operación y mantenimiento tales como el tiempo diario que se debe dedicar a la revisión del sistema, monitoreo periódico etc., deben ser tenidos en cuenta pues de ellos depende el éxito del sistema.

La implementación de sistemas de generación de biogás implica la planeación y proyección de los siguientes aspectos:

- Colección de biomasa
- Digestor anaeróbico
- Almacenamiento del efluente
- Manejo del gas
- Uso del gas y de subproductos del proceso.

Obviar algunos de estos aspectos puede hacer fracasar el proyecto y llevar a cuestionar el uso de la tecnología.

3.1 Colección de Biomasa

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

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

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

Al emplear como flujo principal de biomasa en el sistema de generación de biogás el estiércol de animales debe tenerse en cuenta que el contenido de sólidos limitan su uso y manejo. La tabla 4 sugiere una clasificación de las diferentes formas en que se puede encontrar el estiércol a usar en un sistema de generación de biogás.

Tabla 4 Clasificación del estiércol aplicado a los sistemas de biogás

CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Estiércol crudo	Contenido de Sólidos de 8-25% depende del tipo de animal; se diluye o espesa de acuerdo a las necesidades
Estiércol Líquido	Contenido de sólidos <3%;es lavado con agua de donde esta depositado ; producción de biogás en clima calido; asociado a la producción de cerdos.
Estiércol Slurry	Contenido de Sólidos de 3-10%;es bombeado al sistema y se almacena en tanques; se mezcla con algo de agua.
Estiércol Semisólido	Contenido de Sólidos 10-20%;Puede ser usado si tiene menos de una semana; no requiere adición de agua.
Estiércol Sólido	Contenido de sólidos >> a 20%; No es deseable para la producción de biogás al envejecer o secarse.

3.2 Tipos de Biodigestores

El biodigestor es la estructura física o reactor que favorece en un proceso natural anaeróbico la estabilización de la materia orgánica contenida en los residuos y la generación del biogás.

Uno de los sistemas de biodigestor más difundido es el digestor circular fabricado de ladrillo o mampostería en cemento con un domo fijo y sin partes metálicas a excepción de un pequeño tramo o tubo de acero para entregar el gas. (figura 2). Se requiere un nivel relativamente alto de conocimientos técnicos para la construcción de este tipo de biodigestor, en la práctica parece que muchos de estos digestores no son completamente herméticos y la fuga del biogás es un problema común.

En China se ha reportado que los digestores de este tipo construidos desde el comienzo de la década de 1970 están en un rango de cinco a siete millones (Rose, 1999). El costo de construcción para una familia promedio es de U\$ 80 (Henderson 1988 citado por Rose). En 1992 habían 1.7 millones de plantas en operación en la región de Szechuan donde la mayoría de biodigestores son unidades familiares de 6 – 10 m³ que producen de 1 – 2 m³ diarios de biogás de residuos humanos y animales, a los cuales se agrega adicionalmente un poco de materia vegetal. También existen decenas de miles de tamaño mediano (aproximadamente de 50 m³ de volumen) y grandes (más de 100 m³ de volumen), con tasas de producción de gas del 10 al 20% del volumen del digestor por día.

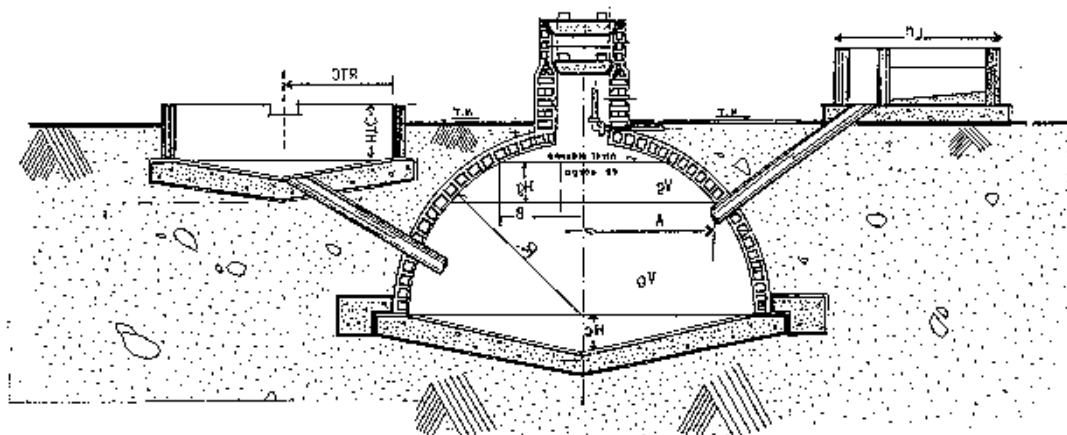


Figura 2 Digestor circular de domo fijo usado en la China

Es común en esta zona que la letrina y la colección de residuos del ganado se alimenten por gravedad hacia el reactor de biogás así se reduce el contacto humano con el residuo y la labor asociada con el llenado de la unidad. Frecuentemente el reactor está localizado bajo el piso del lugar donde permanecen los animales. El resultado inmediato de la aplicación de la tecnología del biogás en esta zona es el incremento en las condiciones de saneamiento.

En India, se han instalado unas 80.000 plantas de biogás pequeñas, de 8 – 10 m³ de volumen, la mayoría de las cuales produce biogás a partir de estiércol de vaca. Esta planta ha sido llamada el digestor KVIC, en honor a la Khadi an Village Industries Commission que promueve su implementación.

El tanque del digestor es un cilindro de concreto parcialmente bajo tierra, y tiene una altura de 2.5 - 4 veces mayor que su diámetro. La tasa de producción de gas lograda con este diseño es del 20 al 30% del volumen del digestor por día. Se coloca un domo invertido en acero sobre la mezcla del digestor para recoger el gas producido. En la medida en que se acumula el gas, el tanque de acumulación sube. La capacidad recomendada del tanque de almacenamiento es del 50 al 60% de la producción diaria de gas.

Se ha desarrollado un tipo de digestor parecido en India, el cual se conoce como digestor Janata, una tapa fija en forma de domo construido sobre el digestor sirve para el almacenamiento del gas (figura 3), su diseño sencillo, el cual puede ser construido sin la necesidad de un domo de acero, hace que este sea una alternativa atractiva.

En Pakistán, se ha desarrollado una planta de producción de biogás la cual tiene un sello externo de agua alrededor de la campana colectora de gas para eliminar los malos olores, y para reducir la acción corrosiva del ácido sulfhídrico contenido en el biogás. Este diseño reduce las pérdidas de gas y los costos de mantenimiento, pero es relativamente caro de construir.

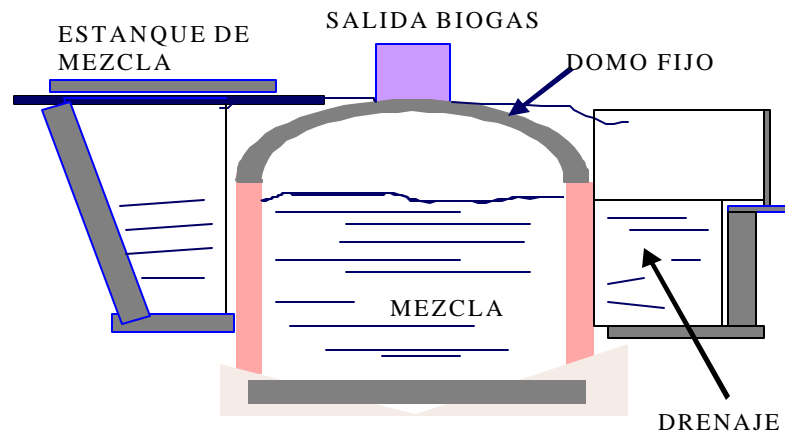


Figura 3 Digestor Janata con domo fijo

En Filipinas, se construye una planta de producción de biogás con un tanque digestor de dos compartimentos. La mayoría del lodo se asienta en el primer compartimento, previniendo de esta forma el bloqueo del tubo de conexión al segundo compartimento. Se usa un acumulador de gas flotante.

Un sistema de Lagunas cubiertas son usadas producir biogás de estiércol líquido con menos del 2% en peso de sólidos . Generalmente se requieren grandes volúmenes preferiblemente con profundidades de 12 pies. El volumen típico de la laguna se encuentra multiplicando el flujo volumétrico de estiércol diario (caudal) por el factor 40 -60 días (tiempo de retención).

Recientes desarrollos han llevado al uso de digestores tubulares fabricados en polietileno los cuales han resultado en disminución de costos y eficiencias considerables. Estas unidades, las cuales varían en tamaño de 100 a 400 m³ en volumen, son fáciles de transportar, sencillas de instalar y baratas de construir.(ver figura 5).

En Vietnam y las Filipinas, los biodigestores plásticos(de bolsa flexible) están siendo usados en combinación con la producción de animales en espacio confinado. En Filipinas el consejo de la industria de animales esta implementando un programa usando estos sistemas para abatir el riesgo dado por la cría de ganado, 99 unidades han sido instaladas en el marco de un proyecto de demostración (Moog et al, 1997). Esta tecnología esta basada en el modelo desarrollado en Colombia (Botero y Preston, 1986) y modificado por experiencias en Vietnam(Bui Xuan An et al 1995). En septiembre de 1998 más de 7000 sistemas han sido instalados en Vietnam, pagados por granjeros (Rodriguez et al).

En Colombia los costos aproximados para la instalación de un biodigestor plástico de 10 m³ es de US\$275 estos costos incluyen excavación, materiales, mano de obra y asistencia técnica.

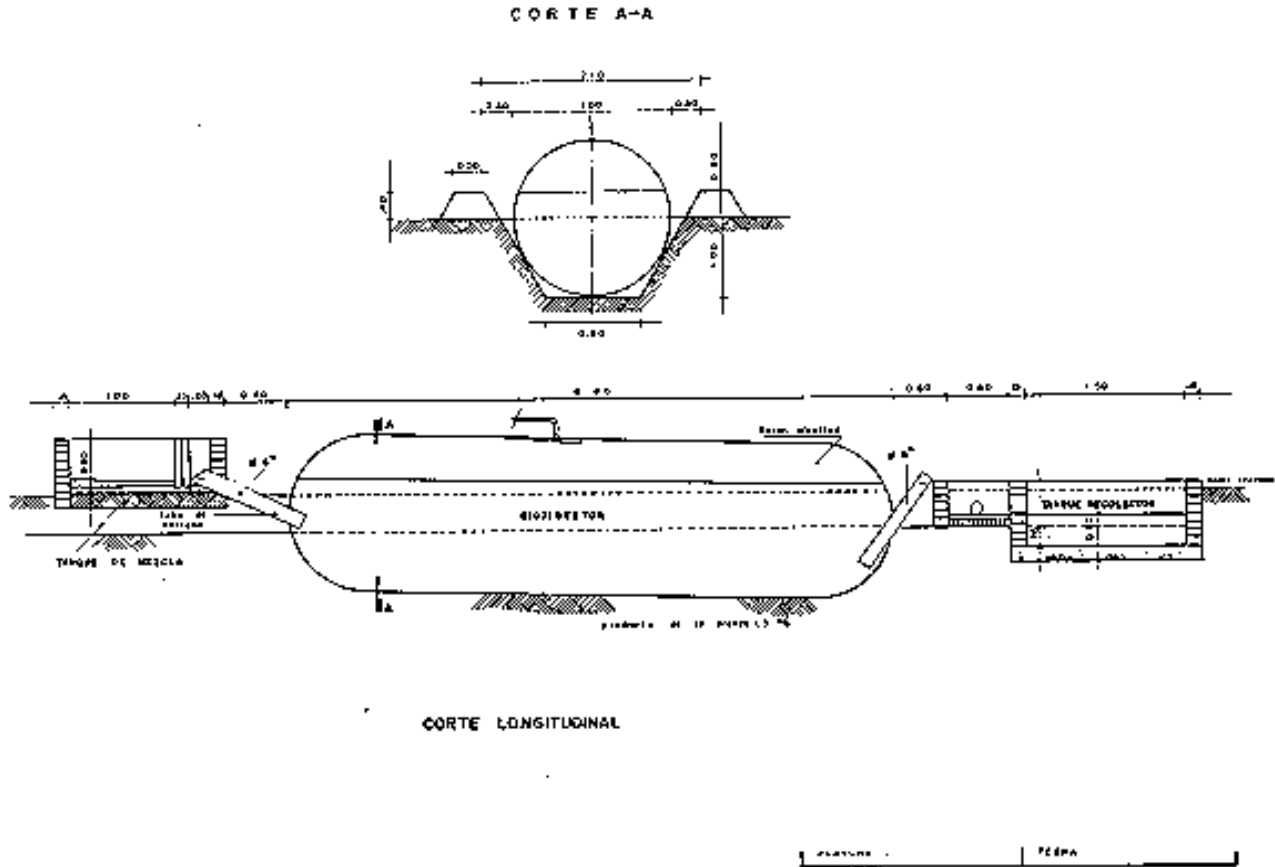


Figura 4 Digestor tubular de polietileno

3.3 Almacenamiento del Efluente

Los productos de la digestión anaerobia son el biogás y el efluente líquido. El efluente es una solución orgánica estabilizada que tiene valor como fertilizante y por ello puede ser utilizado en irrigación de pastos y cultivos. Una evaluación de la presencia de organismos patógenos es recomendable para disminuir los riesgos a la salud pública en el momento de la aplicación.

El efluente del biodigestor también puede ser aprovechado en la generación de biomasa que puede servir de alimento potencial de ganado. Esto se logra combinando el sistema de tratamiento del biodigestor con lagunas ducweed(lenteja de agua).

La lenteja de agua es una macrofitas con un alto contenido de proteína, una tasa elevada de crecimiento y con capacidad de remover nutrientes de las aguas residuales(N y P). Estas características la potencializan para la recuperación de biomasa.

Dependiendo del tamaño de la instalación y de la cantidad de efluente obtenido se requiere proveer en el sistema un sitio para su almacenamiento esto con el propósito de usarlo o comercializarlo posteriormente.

3.4 Manejo del Gas

El biogás debe removerse del biodigestor y transportarse hacia el sitio donde se hace su aprovechamiento. Un sistema de manejo del biogás incluye: Tuberías, bombas o sopladores de gas; medidor de flujo de gas; regulador de presión, drenajes de condensado y sistema de remoción de ácido sulfhídrico.

El biogás debe ser manejado como cualquier otro gas combustible. Mezclas de biogás con aire en una relación de 1:20 forman un gas detonante altamente explosivo. Se debe tener cuidado con tuberías de gas en recintos cerrados que tengan fugas.

Las tuberías de gas pueden estar hechas de acero, cobre, caucho o plástico. Se debe tener presente que las mangueras de caucho se vuelven rápidamente porosas y permeables con los rayos solares. Mientras más larga sea la tubería de gas mayor será la caída de presión presentándose la necesidad de adaptar a la línea un soplador. La tubería de gas debe estar provista de un sistema que permita eliminar el agua de condensación ya que generalmente el biogás está saturado con agua, diversos sistemas de este tipo se presentan en la figura (fig 5).

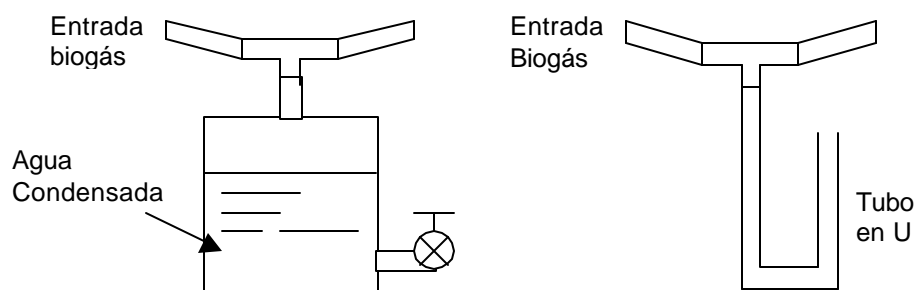


Figura 5 eliminación de agua de condensación en la tubería de biogás. a) Se parador de agua con válvula de drenaje b) Trampa de agua de tubo en U

El ácido sulfhídrico generado en la digestión anaerobia al mezclarse con agua condensada forma ácidos corrosivos por lo que deben tomarse precauciones ya que equipos como los refrigeradores y artefactos para agua caliente son sensibles a estos ácidos. Una solución que eleva los costos del sistema es considerar que la cámara de combustión y los quemadores deben estar hechos de acero colado, de acero especial o esmalte.

Con ayuda de un filtro a base de óxido de hierro se puede purificar el biogás, eliminando el azufre ($\text{FeO} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{FeS} + \text{H}_2\text{O}$; $2\text{FeS} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{S}\downarrow$). En el caso de grandes instalaciones de generación de biogás los costos de operación y mantenimiento de esta alternativa son elevados, por lo que no es recomendable su aplicación. El sistema más sencillo y común para remover el H_2S es el de reducir este compuesto pasando el biogás por una trampa de limadura de Hierro o una esponjilla de brillo convencional.

Una alternativa a la remoción del ácido sulfhídrico es la de usar los denominados Biofiltros o sistemas de tratamiento biológico donde previa inyección de una cantidad específica de aire en el depósito de almacenamiento de gas la mezcla resultante se alimenta a un bioreactor consistente de un lecho o material de soporte donde el H_2S es oxidado biológicamente por bacterias.

3.5 Usos del biogás

El biogás obtenido en los digestores contiene de 60 a 80% de Metano y su poder calorífico es de aproximadamente 6 kWh/m^3 (800 BTU/pie^3), lo que permite emplearlo con propósitos de generación de energía; en iluminación y medio de calentamiento para cocción de alimentos; como combustible para una caldera; para calentar un espacio o en equipos de refrigeración. El poder calorífico aprovechable depende del rendimiento de los quemadores o de los equipos que funcionan a base del biogás.

Estufas de biogás

Las estufas que emplean biogás deben ser de fácil y simple operación, flexibles en cuanto a tamaño, fáciles de limpiar y reparar, de bajos costos y alta eficiencia en el uso del combustible.

En la mayoría de las viviendas se cocina en dos fogones, por ello se da preferencia a quemadores de dos llamas. Los quemadores deben ser graduados al principio y a continuación deben ser fijados, así se mantiene un alto rendimiento.

El rendimiento es bueno, si p.ej. un litro de agua hierve rápidamente (entre 8-12 minutos). Este proceso es más largo si el quemador no está bien regulado, en tal caso, el rendimiento es bajo. El suministro de aire influye considerablemente sobre el rendimiento. Una presión de gas de 5 hasta 20 centímetros de columna de agua es la más apropiada para cocinar.

Alumbrado

En pueblos no conectados a una red eléctrica, la iluminación es una necesidad básica y un símbolo de "status". Bajo esta situación el uso de lámparas de biogás se hace adecuado para este tipo de comunidades.

La luz brillante reflejada por las lámparas de biogás se debe al intenso calor que induce la luminosidad de metales especiales como son el Torio, Cerio y Lantano a temperaturas de $1000-2000 \text{ }^\circ\text{C}$. Alrededor de 400 -500 lumen los flujos de luz alcanzados son equiparables con los obtenidos con lámparas de bulbo de 25-75 W.

Un buen funcionamiento de una lámpara de biogás depende de la calibración óptima de llama y del cuerpo incandescente, que debe ser rodeado por la llama con el mínimo consumo de gas. Las lámparas a biogás poseen un bajo rendimiento, por eso se calientan extremadamente. Si se cuelgan muy cerca del techo, existe peligro de incendio, ya que las camisas incandescentes no duran mucho. Por eso, en muchos casos, las lámparas de biogás no pueden ser utilizadas de manera eficaz. Las lámparas necesitan unos 10 cm. de columna de agua de presión.

Refrigeradores

Las máquinas de refrigeración tipo absorción, operados con amoníaco y agua, el termosifón de circulación automática son equipos típicos que pueden funcionar con biogás.

La variación diaria en la composición y presión del biogás afecta el funcionamiento de los refrigeradores. Aún en plantas con campana flotante la presión del gas varía mucho según la cantidad de gas almacenado. Por eso se requieren boquillas de inyección especiales y resistentes a la incandescencia, sobre todo, si el refrigerador posee un regulador con termostato y la llama enciende solo cuando es necesario. En cada arranque existe el peligro de que la llama sea interrumpida, entonces fluye el gas sin ser quemado, por eso, la alimentación del biogás debe ser interrumpida automáticamente si la llama se apaga. Al utilizarse biogás en refrigeradores se debe consultar en todo caso a un experto en aparatos a gas.

Motores Que Usan biogás Como Combustible

Los motores con ignición por chispa pueden funcionar solamente con biogás mientras que los motores diesel requieren algunas modificaciones para permitirles que funcionen principalmente con biogás suplementado con combustible Diesel. Esto es una operación de “combustible” dual con hasta el 60% del requerimiento de combustible Diesel reemplazado por biogás. La experiencia demuestra que no es práctico reemplazar una mayor proporción del requerimiento de Diesel, debido a las limitaciones operacionales de los motores Diesel. La temperatura de la cámara de combustión del motor es mayor (aproximadamente 700° C) al final de la carrera de compresión, pero esto es menor que la temperatura a la cual la mezcla biogás/aire hace ignición espontáneamente. De esta forma, siempre se requiere inyección de un pequeño suplemento de combustible Diesel para asegurar la ignición fácil de la mezcla de biogás/aire.

La mayoría de los motores Diesel pueden ser modificados para su operación con combustible dual. En muchos casos, el arreglo más sencillo es el de conectar el tubo del suministro de biogás directamente al tubo de admisión de aire de motor, después del filtro. Para asegurar una operación satisfactoria con combustible dual, el ácido sulfhídrico del biogás debe ser removido por purificación. La potencia pico de salida de un motor Diesel modificado que funciona con biogás es del 25 al 35 % menor que cuando se usa combustible Diesel exclusivamente. En principio, los motores de gasolina también pueden funcionar con biogás, usando un poco de gasolina para arrancar. Se puede utilizar un carburador estándar para alimentar el biogás, pero los carburadores diseñados exclusivamente para gas generalmente darán mejores resultados.

Para la utilización del gas en motores no es necesario filtrar el biogás. La presión del gas puede ser baja porque los motores succionan el gas.

4. BALANCEANDO LA DEMANDA DE ENERGIA CON LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS

La tasa de producción de biogás depende del material de biomasa y el tipo de planta usados. La tabla 5 da una indicación aproximada de la tasa de producción para varios tipos de desechos animales. En términos generales, se puede estimar la tasa de producción de gas entre 10 y 30 % del volumen del digester por día, dependiendo del material de alimento, tipo de digester, temperatura ambiente, y otras condiciones de operación.

Tabla 5 Tasas de Producción de biogás

Tipo De Desecho o estiércol	Cantidad Disponible (Kg / Día)	Tasa De Producción De biogás (M ³ / Día)
Bufalo	10-15	0.50-0.75
Vaca Cebú	8-10	0.25-0.40
Ternero		0.15-0.25
Cerdo	25	.05-0.1
Gallinas		0.02-0.04
Oveja o cabra		0.02-0.04
Usuario de Letrina	1	0.02-0.03

Todas las proyecciones de producción de biogás deben comenzar con una estimación de la biomasa disponible y los requerimientos de energía que se desean cubrir, esto permitirá establecer preliminarmente si adelantar la implementación de la tecnología de biogás es factible o no. En el caso de una planta de tamaño familiar, proyectada inicialmente como una fuente de energía, la implementación debe recomendarse, solo si la planta cubre la demanda de energía proyectada.

En cualquier situación lo que se pretende con la implementación del sistema es que la producción de energía por biogás (P) debe ser mayor que la demanda de energía(D). Esta condición fundamental limita la aplicación de la tecnología en sitios donde la disponibilidad de biomasa es escasa (pocas cabezas de animales por ejemplo).

En el caso de un balance negativo, entre la producción y la demanda el planificador debe chequear ambos aspectos – producción y demanda – con el propósito de buscar un equilibrio entre ellos. Los siguientes criterios pueden emplearse con tal fin:

Demanda de energía

- Disminuir los tiempos de uso del biogás, ejemplo, disminuir el tiempo de encendido de lámparas.
- Omitir ciertas aplicaciones, ejemplo, calentamiento radiante, lámparas secundarias.
- Reducción a un nivel de suministro de energía parcial que podría probablemente hacer la operación de una planta de biogás más valiosa.

El alcance de estas consideraciones busca reducir la demanda de energía, pero únicamente a tal extensión que esto no disminuya el grado de motivación por usar la tecnología del biogás.

Suministro de energía – producción de biogás (P)

Examine/ calcule las siguientes opciones/factores

- El grado en el cual el volumen de biomasa puede ser aprovechado completamente (mejores métodos de recolección, uso de estiércol de otros inventarios de ganado, incluir residuos agrícolas, residuos de alcantarillas, etc.), cualquier forma de biomasa que pudiera incrementar la labor necesaria debe evitarse.
- El grado en que se puede incrementar el tiempo de retención, por ejemplo un gran volumen de digestor puede incrementar la producción de biogás, por ejemplo el biogás producido de estiércol de ganado vacuno puede ser incrementado de 200l/KgSV para un período de tiempo de retención de 40 días a valores tan grandes como de 320 l/KgSV para un RT de 80 – 100 días.
- El grado en el que la temperatura de digestión puede incrementarse modificando la estructura.

El alcance de tales medidas es determinar el máximo nivel de producción de biogás que se puede alcanzar para una cantidad razonable de trabajo y un aceptable costo de inversión.

La conclusión final a la que se puede llegar una vez revisadas estas posibilidades es:

Si la producción de biogás aún es inferior a la demanda de biogás ($P < D$), no debe instalarse una planta de biogás.

4.1 Determinación de la demanda de biogás.

La demanda de energía de una granja o comunidad es igual a la suma de todas las situaciones de consumo presentes y futuras; ejemplo: cocina, alumbrado, enfriamiento, generación de potencia. En los siguientes ítem se plantean algunas metodologías de cálculo empleadas para establecer dicha demanda:

Determinación de la demanda de biogás sobre la base del consumo presente.

Por ejemplo A partir de establecer la demanda de energía gastada en cocinar. Esto implica tanto medir como estimar la velocidad de consumo de energía en la forma de madera/carbón/Kerosene gas en pipa.

Cálculo de la demanda de biogás empleando datos de experiencias en otros lugares.

Consiste en emplear datos de experiencias en otras zonas bajo condiciones similares donde se adelanta el proyecto. Tales datos pueden consistir de:

Valores Empíricos de sistemas vecinos: por ejemplo, consumo de biogás por persona.

Datos de referencia de literatura pertinente: Esta alternativa implica una incertidumbre considerable puesto que el consumo de energía para cocinar depende de las costumbres culturales propias de cada localidad y hábitos alimenticios, por lo tanto pueden diferir sustancialmente de una situación a otra.

Estimación de la demanda de biogás por medio de la aplicación de datos de consumo y períodos de uso asumidos.

Esta alternativa es funcional si las aplicaciones al biogás son conocidas, por ejemplo una lámpara de biogás con consumo específico de 120 l/h y un período de operación planeado de 3h/d resulta en una demanda de gas de 360 l/h.

Posteriormente la demanda de energía debe ser tabulada en la forma de una lista de necesidades de energía . En esa conexión es muy importante adicionar una prioridad relativa a los consumidores varios:

Primera prioridad: Aplica únicamente cuando la planta de biogás cubre la demanda.

Segunda prioridad: El cubrimiento es deseable, puesto que él puede promover el uso de la planta.

Tercera prioridad: Exceso de biogás puede ser colocado para estos usos.

4.2 Determinando La Producción De Biomasa.

La cantidad, calidad y tipo de biomasa disponible para usar en la planta de biogás constituyen el factor básico de generación de biogás.

La incidencia del biogás puede y debe también ser calculado de acuerdo a diferentes métodos aplicados de modo paralelo.

Medición directa de la biomasa (Cantidades de excremento y sustrato vegetal).

Este método demanda tiempo, haciendo esta alternativa tediosa, pero también es necesario adaptar valores pertinentes de la literatura para regiones en que se desconozca. El método es aún impreciso si no se incluye una medición de los sólidos suspendidos totales. Las Mediciones directas sin embargo suministran indicaciones de variaciones estacionales o variaciones relativas en la biomasa si las muestras son tomadas por grandes períodos de tiempo.

Determinación de la cantidad de biomasa a partir de datos de la literatura.

De acuerdo a este método la cantidad de la biomasa puede determinarse sobre la base de un inventario del ganado disponible, el cual se correlaciona con datos de la literatura que reporten la cantidad de estiércol producida por las diferentes especies y por peso de animal. El rendimiento se cuantificará de acuerdo a :

*Rendimiento = peso del animal(Kg) * # de animales * cantidad específica de excrementos*

La cantidad específica de excrementos puede ser representada en términos del % de excremento en peso por día, en base húmeda, o su contenido en sólidos totales o volátiles) tal como se indica en la tabla 6.

Tabla 6 : Cantidad específica de excrementos

Clase de animal	Cantidad diaria de		% del material de Fermentación	
	estiércol en % del peso vivo	Orina en % del peso vivo	%MST	%MSO
Vacunos	5	4	15.5	13
Cerdos	2	3	16	12
Caprinos	3	1.5	30	20
Ovejas				
Caballos	1	4	25	15
Aves	4.5	4.5	25	17
Humanos	1	2	20	15

MSO= materia orgánica seca; los datos varían dependiendo de las condiciones y tipo de ganado. Tomado de el biogás y sus aplicaciones.

Finalmente no debe descartarse la posibilidad de determinar la biomasa a partir de datos regionales y encuestas realizadas a los usuarios del sistema. La primera proporciona información relativamente precisa si otras plantas de biogás funcionan en la región o área en cuestión y por su parte la segunda es necesaria sí el material vegetal se va a incluir como sustrato.

4.3 Dimensionamiento del sistema de Biogás.

El tamaño de la planta de biogás depende de la cantidad, calidad y clase de biomasa disponible y de la temperatura de digestión.

Tamaño del digestor

El tamaño del digestor (Volumen del digestor) se determina sobre la base del tiempo de retención seleccionado (TR) y la cantidad de sustrato de entrada (Sd)

$$Vd = Sd * TR \quad (\text{m}^3)$$

Algunos autores han correlacionado el tiempo de retención con la temperatura de digestión. Para una planta de biogás, la temperatura predominante puede asumirse 1 – 2 K por encima de la temperatura del suelo. Las variaciones estacionales deben considerarse y el digestor debe dimensionarse para la condición de temperatura más desfavorable del año.

La entrada de sustrato depende de la cantidad de agua adicionada para ajustar el contenido de sólidos del sustrato que generalmente esta alrededor del 4 al 8%.

$$\text{Cantidad de sustrato (Sd)} = \text{Biomasa(B)} + \text{Agua (W)} \quad (\text{m}^3/\text{día})$$

Calculo de la producción diaria de gas

La cantidad de biogás generada cada día (G) se calcula sobre la base del gas producido (Gy) que produce la unidad de sustrato y la cantidad diaria de sustrato.

El valor de Gy puede ser estimado a partir de datos de la literatura y representa la cantidad de gas equivalente producido por unidad de sólidos volátiles o de masa húmeda o por animal doméstico.

De esta manera el cálculo se puede realizar en términos de :

A. Contenido de Sólidos volátiles:

$$G = \text{Sólidos volátiles}(\text{Kg/día}) * Gy (\text{m}^3 / \text{día de biogas por unidad sólidos volátiles})$$

B. El peso de la masa húmeda:

$$G = \text{Kg biomasa} * Gy (\text{m}^3 / \text{día de biogás por unidad de masa húmeda})$$

C. Valores estándar por animal doméstico:

$$G = \# \text{de animales} * Gy (\text{m}^3 / \text{día de biogás por unidad de especies domésticas})$$

Establecimiento de los parámetros de la planta

La seguridad de haber seleccionado un tamaño correcto del sistema puede incrementarse chequeando los siguientes parámetros:

- Producción específica de gas: Relación entre la producción diaria de gas y el volumen del digestor:

$$Gp = G : Vd (\text{m}^3 \text{gas/día} * \text{m}^3 \text{ de digestor})$$

- Carga del digestor (Ld): Entrada de Sólidos totales o volátiles por volumen de digestor

$$Ld = ST \text{ o } SV \text{ a la entrada} / \text{m}^3 \text{ del digestor} = (\text{Kg } ST(SV) / \text{día} * \text{m}^3 \text{ de digestor})$$

Los parámetros anteriormente calculados deben ser chequeados contra los datos obtenidos en planta existentes en la región o de la literatura.

Tamaño del tanque de almacenamiento de biogás

La experiencia práctica indica que el 40 – 60% de la producción diaria de gas normalmente tiene que ser almacenada por lo tanto en la mayoría de los casos se requiere de un tanque de almacenamiento del biogás.

El tamaño del tanque de almacenamiento (Volumen) depende de las velocidades relativas de generación y de consumo de biogás y el puede ser dimensionado para:

A. Cubrir la velocidad pico de consumo (V_{g1}): en este caso el tamaño se determina con base al máximo consumo de gas:

$$\text{Volumen del tanque máximo consumo de gas} = (Gc, \text{max.}) * (tc, \text{max})$$

Gc, max = máximo consumo gas horario.

tc, max = tiempo de máximo consumo (h).

- B. Mantener el gas producido durante el período de cero consumo: en este caso el tamaño se determina con base en el tiempo de cero consumo de gas:

$$\text{Volumen del tanque periodo de cero consumo} = (G) * (tz, \text{max.})$$

G = producción de gas.

tz, max = tiempo máximo de cero consumo.

El tamaño final se selecciona dependiendo mayor valor obtenido de la situación A o B. Un margen de seguridad del 10 al 20% debe ser agregado.

Un factor importante en el dimensionamiento del sistema tiene que ver con la relación Volumen del digester / volumen del tanque de almacenamiento. Para una planta de biogás agrícola, la relación Vd/Vg esta en el rango de 3:1 a 10:1; recomendandose la relación 5:1 a 6:.

5 BIBLIOGRAFIA

Acuña, Miguel. Manual Técnico para Construcción y Mantenimiento de Biodigestores. INE 1984

Botero R., Preston T.R. 1986. Low-cost biodigester for production of fuel and fertilizer from manure. Manuscrito no editado, Cali Colombia, pp 1-20.

Chará, J.D., Material Flow in "Pozo Verde" Integrated Farm in Cauca Valley Province, Colombia Paper de discusión en la conferencia de análisis de flujo en sistemas biointegrados 1998. <http://www.ias.unu.edu/proceedings/icbs>.

Moog, F. A, et al (1998) Promotion and utilization of polyethylene biodigester in smallhold farming systems in the Philippines. Paper de discusión en la conferencia de aplicaciones de sistemas bio integrados en cero emisiones 1998. <http://www.ias.unu.edu/proceedings/icbs>.

Proyecto GTZ-CVC-OEKOTOP (1987). Difusión de la tecnología del biogás en Colombia. Documentación del Proyecto. Cali 1987

Proyecto PESENCA. El biogás y sus aplicaciones. Documento del proyecto programa especial de energía de la Costa Atlántica GTZ-ICA-CORELCA.

ROSE, G.,(1999).Community-Based Technologies for Domestic Waste Water Treatment and options for urban agriculture. <http://www.ias.unu.edu/proceedings/icbs>

Sasse, Ludwing. La planta de Biogás. Eschborn: GTZ, 1984.