

BIOGÁS

PARA LA FAMILIA CAMPESINA

José A. Guardado Chacón



tierra viva
SOBERANÍA ALIMENTARIA
Amancio • Manzanillo

BIOGÁS

PARA LA FAMILIA CAMPESINA

José A. Guardado Chacón



tierra viva
SOBERANÍA ALIMENTARIA
Amancio • Manzanillo

ÍNDICE

Prólogo

Introducción / 1

Generalidades del biogás / 3

¿Cómo construir una sencilla planta de biogás? / 7

Biodigestores de campana móvil / 12

Biodigestores de balón y sus similares.

Biodigestores tubulares / 19

PRESENTACIÓN

En el ámbito del proyecto Tierra Viva se han desarrollado un conjunto de actividades para promover sistemas de tratamiento de aguas residuales adecuados al contexto de la finca familiar con el objetivo de prevenir la contaminación de agua y suelo, así como aprovechar de forma oportuna los residuales y la energía resultante de la producción pecuaria.

El proyecto, frente a una creciente demanda de parte de las cooperativas y de las autoridades territoriales de Amancio y Manzanillo, de poder disponer de adecuados sistemas de tratamiento para la producción pecuaria, ha desarrollado una alianza con la asociación Cubasolar y con el Movimiento de usuarios de biogás de Cuba.

Durante el 2014 se han desarrollado varias actividades de capacitación así como talleres para la realización de sistemas de tratamientos basados en el uso de biodigestores asociados a otros sistemas de tratamiento secundario, como por ejemplo la fitodepuración.

Gracias a estas actividades el proyecto ha realizado algunos sistemas de tratamiento que incluyen biodigestores en el municipio de Manzanillo, mientras que otros sistemas se están replicando en los municipios de Amancio y Manzanillo. La capacitación de grupos de productores y constructores locales ha representado un elemento importante para garantizar la replicabilidad de la acción.

Otro resultado importante es lo de haber promovido la participación de los productores de estos municipios en el Movimiento nacional de usuarios de biogás, con el objetivo de promover la participación en espacios de reflexión e intercambio entre productores.

La participación de todos los actores involucrados en el proyecto ha permitido que estas actividades tuvieran éxito.

Queremos expresar un agradecimiento especial a las cooperativas, los productores de Manzanillo y Amancio y al Ingeniero José Antonio Guardado, que con voluntad y esfuerzo han contribuido a estos resultados.

Luigi Partenza
Co-director del proyecto
Tierra Viva



Contrucción ...



Biodigestor construido ...



Empleo del biogás ...

PRÓLOGO

El Movimiento de Usuarios del Biogás en Cuba ha venido desarrollando acciones diversas para la aplicación y extensión del biogás como fuente renovable de energía. Dicho Movimiento ha ido consolidando sus resultados a través de los Encuentros Nacionales de Usuarios del Biogás (ENUB), que se desarrollan desde 1994 a nivel local, y desde el 2008 a nivel nacional. Ello ha permitido que un sector cada vez mayor de la población pueda acceder al uso de ese portador energético, y contribuir a mejorar sus condiciones de vida. Las numerosas experiencias acumuladas en este campo, con la acción participativa de todas las partes involucradas, han hecho posible su desarrollo de manera sostenida en Cuba. Para ello, anualmente se valoran y socializan los resultados mediante el intercambio de las experiencias y las lecciones aprendidas en el contexto del citado Movimiento. Este accionar progresivo, caracterizado por la solución de los problemas de diseño que se adecuan a las características específicas de los usuarios, y en condiciones económicas adversas, ha logrado un trabajo de sensibilización, entre otras razones, por la activa participación de la mujer. Estas particularidades y otras relacionadas con los saberes del biogás en el contexto del Movimiento de Usuarios del Biogás, forman parte del proyecto “GBV”, que se inició en 1984. En el 2014, por su liderazgo en la consecución del desarrollo sostenible, le fue otorgado a este proyecto el premio internacional “Luis Wannoni Lander”, que por primera vez se le reconoce a Cuba por la Unión Panamericana de Ingenieros. En el marco de estos acontecimientos, se convoca a la presente edición del VI ENUB, que será un escenario favorable y de mucha motivación para la consolidación de los resultados del Movimiento. Otras tecnologías muy representativas del uso de las fuentes renovables de energía, como los calentadores y los secadores solares, también dispondrán de un espacio próspero para su contextualización y desarrollo prospectivo.

Dr. Antonio Guardado Chacón

Coordinador Nacional del Movimiento
de Usuarios del Biogás

INTRODUCCIÓN

Construir una Planta de Biogás es crear la capacidad de transformar los residuos orgánicos y contaminantes para obtener, en el proceso, los nutrientes básicos para la producción de alimentos, eliminar las amenazas a la salud humana y animal, y, además, generar energía.

En Cuba aplicar la tecnología del biogás constituye una prioridad nacional y es un componente básico dentro de la Revolución Energética.

Sin embargo, la experiencia ha demostrado que las plantas de biogás solo son exitosas donde la tecnología forma parte integrante en la conciencia de todos los miembros de una familia, una granja, empresa o la cooperativa donde se aplique. Por ello, su sostenibilidad requiere que se ubiquen en sitios donde la comunidad sienta la necesidad de su utilización y cuidado.

El aspecto energético en el uso de la tecnología del biogás sigue siendo importante para jerarquizar su implementación. Además de la importancia como portador energético, es necesario para su sostenibilidad, la utilización íntegra de otros productos finales que genera dicha tecnología (biol y bioabono), así como el de sus impactos en el ambiente y el medio circundante. En la figura 1 se muestran, además del biogás, otras Fuentes Renovables de Energía (FRE) que siempre se deben valorar al diseñar un espacio para contribuir al desarrollo sostenible.

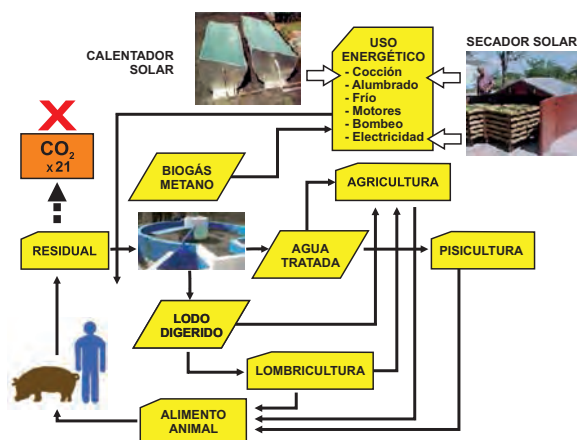


Fig.1. Impactos de los productos finales del biogás y otras FRE en la cadena energética-ambiental

Otra forma de ilustrar, las bondades y vinculación de los productos finales de un biodigestor, con los principales problemas que genera la contaminación ambiental, y que afectan la vida humana en el planeta, se indican a continuación en las figuras 2 y 3.

MATERIA PRIMA DEL BIOGÁS Y SU VINCULACIÓN CON PROBLEMAS QUE AFECTA LA VIDA DE LOS HOMBRES EN EL PLANETA



Todo excremento humano y animal que el mundo pierde, devuelto a la tierra en vez de ser vertido al agua, sería suficiente para alimentar el mundo

Fig.2. Vinculación de los productos finales de la tecnología del biogás con los principales problemas que enfrenta la humanidad.

PROBLEMAS QUE AFECTA LA VIDA DE LOS HOMBRES EN EL PLANETA

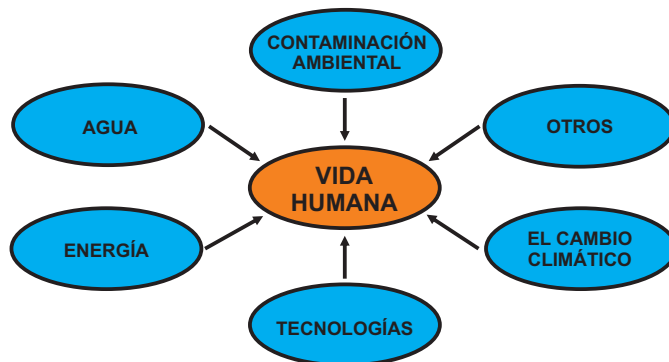


Fig.3. Principales problemas que afectan la vida humana en el planeta.

GENERALIDADES DEL BIOGÁS

El descubrimiento y el uso del biogás datan de los siglos XVII y XIX respectivamente. Fue identificado en 1667, por Shiley, como “*gas de los pantanos*” por ser el sitio donde observó su presencia. La primera instalación de biogás se construyó en 1859 en Bombay, India, para el tratamiento de excretas humanas.

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno (ambiente anaeróbico), determinado rango de temperatura (10-50 °C) y acidez (6,5-8,5 pH), entre otros factores, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.). Estas bacterias, en su ciclo vital, se alimentan del residual orgánico y desechan componentes simples y también el gas metano (CH_4), en lo que se le denomina proceso de fermentación anaeróbica.

Materiales no orgánicos, como metales, celulosas, vidrio, etc., no son digeridos o modificados durante el proceso de fermentación, de ahí que su presencia en el biodigestor resulte inapropiada para la obtención de biogás resultando necesario eliminarlos antes de su introducción en el digestor. Por lo general, se puede obtener biogás a partir de cualquier material orgánico.

Todos los materiales orgánicos que pueden ser empleados como “*cieno de fermentación*” están compuestos, en su mayor parte, por carbono (C) y nitrógeno (N). La relación entre ambos tiene gran influencia sobre la producción de biogás.

Es importante lograr un proceso de fermentación eficiente y, por tanto, una mayor producción de biogás, para ello es necesario establecer la relación de mezcla con el agua para aumentar la fluidez del material de fermentación.

En un cieno líquido las bacterias de metano llegan con mayor facilidad al material fresco, lo que acelera el proceso de fermentación.

El proceso de fermentación se compone de dos fases principales:

1. **Fase ácida:** se forman los aminoácidos, ácidos grasos y alcoholes, a partir de las proteínas, grasas e hidratos de carbono disueltos en el residual.
2. **Fase metanogénica:** se forman el metano, el dióxido de carbono y el amoníaco, entre otros.

El proceso de fermentación, que ocurre en los llamados biodigestores, simula al que se produce en el aparato digestivo de un ser vivo al ingerir los alimentos, donde estos son descompuestos por la acción de las enzimas. Por lo general, en el proceso de fermentación dentro de un estómago están presentes las bacterias metanogénicas. La instalación construida por el hombre y destinada a la producción y captación del biogás constituye el biodigestor.

Existen múltiples diseños y formas de digestores (como estómagos en los seres vivos), en función del volumen y la materia prima (residual) que se emplea, materiales con que se construye, etc. La variedad de los modelos existentes permiten su adaptación a las necesidades y posibilidades contemplando: volumen, materiales empleados y los residuales orgánicos que se deben tratar.

COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS

El biogás es una mezcla constituida principalmente por metano (CH_4), gas con poder energético y otros componente según se muestran en la tabla No. 1. Con un contenido de metano menor del 50 %, el biogás deja de ser inflamable. Su inflamabilidad volumétrica en porciento de aire oscila entre 6 y 12%.

El biogás tiene como promedio un poder calorífico entre 18,8 a 23,4 megajulios por m^3 (5 000 a 6 000 kilocalorías por m^3). Es más ligero que el aire y posee una temperatura de combustión entre 650 °C a 750 °C, su llama alcanza una temperatura de 870 °C.

Tabla 1: Composición promedio del Biogás

COMPUESTO	%
Metano (CH_4)	55-70
Dióxido de Carbono (CO_2)	35-45
Hidrógeno (H_2)	0-1
Nitrógeno (N_2)	0,5-3
Sulfuro de Hidrógeno (H_2S)	0-1
Proporciones % Volumen H_2S	0-2
Proporciones % Volumen de N_2	0,5-3
Proporciones % Volumen de H_2	1-3
Proporciones % Volumen O_2	0-1
Vapor de Agua (H_2O)	Trazas

USOS DEL BIOGÁS

El biogás se puede utilizar como cualquier otro combustible, tanto para la cocción de alimentos, en sustitución de la leña, el keroseno, el gas licuado, etc., como para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, hornos, estufas, secadores, calderas, u otros sistemas de combustión a gas.

Las mezclas de biogás con aire, en una relación de 1:20, forman un gas detonante altamente explosivo, lo que permite su empleo como combustible en motores de combustión interna adaptados. A pesar de su contenido de H_2S , es un combustible ideal y se puede utilizar en cualquier aparato o equipo que funcione a gas, incluso en las proyecciones con automotor del primer mundo que hoy constituyen novedades tecnológicas futuras y noticias de la ciencia ficción (fig. 4). Es importante saber que solo se puede dar este uso cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales al 50%.



Fig.4. Noticias sorprendentes en el mundo automotriz (proyecciones a futuro).
Un Audi A4 a biogás y un auto descapotado adaptado también a biogás
por la empresa británica (Eco. www.wikipedia.com).

EQUIVALENCIAS DEL BIOGÁS

En dependencia del por ciento del metano, el contenido calórico del biogás oscila entre 19 693 - 20 950 J/m³. Por lo que, potencialmente puede sustituir a diversos combustibles. Su rendimiento también depende de sus usos. Algunas de las equivalencias promedio de un m³ de biogás (con 70 % de CH₄, 30 % de CO₂ y 6 000 kcal) son:

- 1,8 kWh de electricidad.
- 0,6 m³ de gas natural.
- 0,8 L de gasolina.
- 1,2 L de alcohol combustible.

- 0,3 kg de carbón.
- 0,7 l de fuel-oil.
- 2,7 kg de madera.

ASPECTOS A VALORAR PARA LA INVERSIÓN EN UN BIODIGESTOR

El biogás es una fuente de energía barata, abundante y de fácil obtención a partir de desechos animales, vegetales e industriales, por ello se ha extendido su uso en el país mediante diversas vías, siendo una de ellas la de los proyectos internacionales con la acción participativa de los usuarios.

El tránsito económico que tiene lugar en Cuba exige un mayor aprovechamiento de los recursos y, por ende, del conocimiento y los criterios para valorar cualquier inversión en un biodigestor.

Para invertir con éxito en una planta de biogás deben tenerse en cuenta algunos principios de sostenibilidad.

Debe ser:

- Ecológicamente viable.
- Económicamente rentable.
- Social y humanamente justa.

A partir de estos principios, se contemplan las condiciones necesarias para tener y mantener una planta de biogás, debe:

- Desearlo;
- sentir la necesidad de su uso;
- conocer sus bondades;
- tener disponibilidad financiera para adquirir o poseer los implementos necesarios;
- disponer de materia orgánica, agua y espacio;
- reconocer cuándo un diseño resulta funcional para sus circunstancias y posibilidades.

Quizás por las razones expuestas hasta aquí, se habla del biogás como *“algo que está de moda”* y se repiten los mismos errores. Por estas y otras razones, nos interesa contribuir a la generalización del biogás con la acción participativa de los usuarios y para el beneficio de los pobladores. Ello incidirá indiscutiblemente, en el bienestar de sus usuarios con sus correspondientes y positivos impactos en el desarrollo local en Cuba.

¿CÓMO CONSTRUIR UNA SENCILLA PLANTA DE BIOGÁS?⁽¹⁾

PASO 1: identificar para qué total necesita una planta de biogás; de este paso dependerá el volumen de almacenamiento requerido (VT).

a) Si el propósito fuera la cocción de alimentos:

Multiplique la norma para una persona ($N_p=0,5 \text{ m}^3/\text{d}^*$) por la cantidad de miembros de una familia y obtendrá el volumen demandado para esa actividad (V0):

Una familia de cuatro personas en un día: $4 \text{ d} \times 0,5 \text{ m}^3/\text{d} = 2 \text{ m}^3$

b) Como en la mayoría de los digestores simples la proporción entre la producción de biogás en m^3 por m^3 de volumen de almacenamiento del residual mezclado con agua va desde 1:1 a 1:4, puede asumirse para los cálculos preliminares una relación de 1:2,5. Aplicando regla de tres, a partir de V0, obtendrá el volumen de almacenamiento del digestor (Vd): si por cada $2,5 \text{ m}^3$ de biodigestor se obtiene 1 m^3 de biogás diario entonces, para $2 \text{ m}^3/\text{d}$, necesitamos 5 m^3 .

c) Si el volumen de almacenamiento del biogás dentro del digestor debe ser superior al 20 % del volumen de almacenamiento del digestor (Vd) - en digestores de cúpula fija -, quedaría:

$$V_d + 20\% V_d = V_T$$

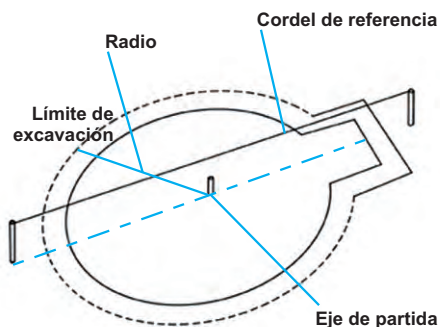
$$5 \text{ m}^3 + 1 \text{ m}^3 = 6 \text{ m}^3$$

El volumen total del digestor para una familia de cuatro personas es de 6 m^3 .

El ejemplo anterior, tiene un enfoque puramente energético, a partir de tiempos de retenciones que oscilan entre 20-30 días. El tiempo de retención asumido, no siempre es el óptimo para digerir o estabilizar toda la materia orgánica, sobre todo, cuando se trata de flujos continuos. En consecuencia el posterior tratamiento y manejo de los efluentes líquidos, deberán ser objeto de análisis para caso en particular.

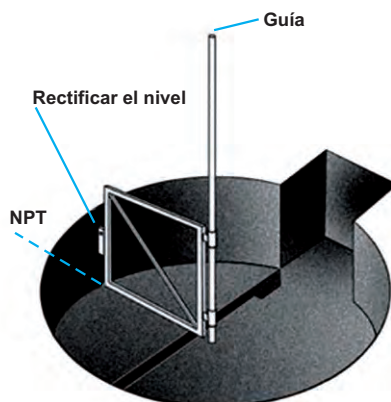
⁽¹⁾ Sobre un ejemplo para biodigestor de cúpula fija, cortesía de José A. Guardado.
Ilustraciones: versión Yury Díaz Caballero

1. TRAZADO DEL BIODIGESTOR



Replantar el radio sumando un metro para la excavación. Luego de correr los niveles, colocar el cordel de referencia para tomar todas las alturas.

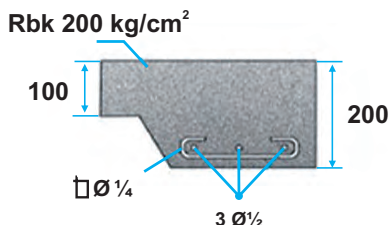
2. EXCAVACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LA CIMENTACIÓN Y EL PISO



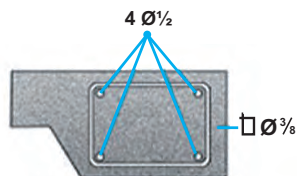
Colocar la guía (tubería de A° G° Ø 1½) y nivelarla con nivel imantado de burbuja. Asegurar mediante tres vientos (alambre Ø=3 mm) en forma de pata de gallina en la parte superior del tubo.

2.1 CONSTRUCCIÓN DE LA CIMENTACIÓN Y EL PISO

Terrenos de alta resistencia

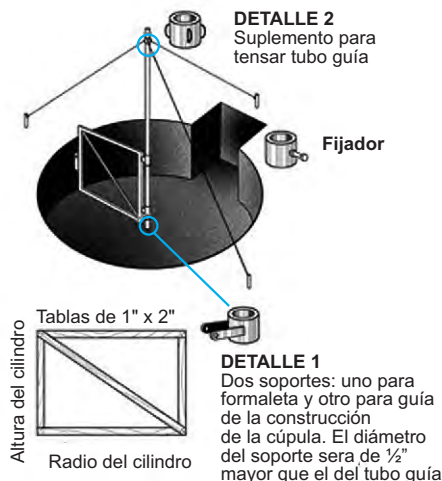


Terrenos de baja resistencia



* m³/d: metros cúbicos por día, se emplea para indicar flujos y caudales, es decir, volumen en unidad de tiempo

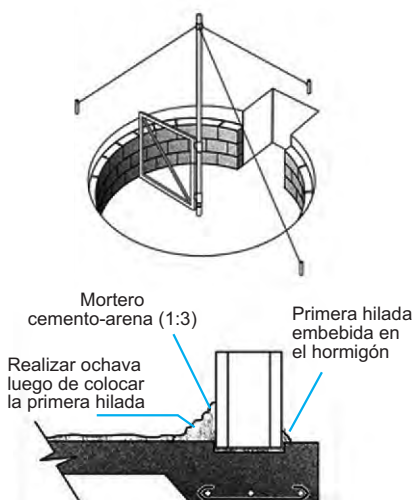
3. CONSTRUCCIÓN DE LA FORMALETA O ESCUADRA



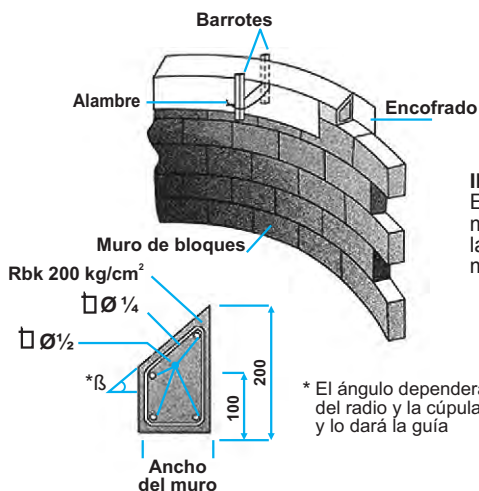
IMPORTANTE (Paso 4)

1. La primera hilada debe colocarse inmediatamente después de fundir y nivelar el piso.
2. Se tendrá mucho cuidado con las uniones entre los bloques. Debe macizarse bien la cuña que se va formando en la parte trasera del muro.
3. El buen aplome del muro dependerá de la cara exterior de la formaleta o escuadra.

4. CONSTRUCCIÓN DEL MURO DEL CILINDRO



5. CONSTRUCCIÓN DE LA VIGA DE AMARRE Y ARRANQUE DE LA CÚPULA

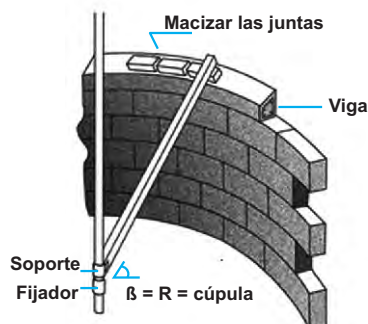


IMPORTANTE

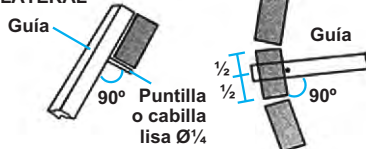
El encofrado de la viga puede realizarse con madera contrachapada (plywood), cartón de láminas finas o chapas de zinc. Podrá fijarse al muro mediante barros de madera y alambre.

* El ángulo dependerá del radio y la cúpula y lo dará la guía

6. COLOCACIÓN DE LA GUÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CÚPULA



VISTA LATERAL

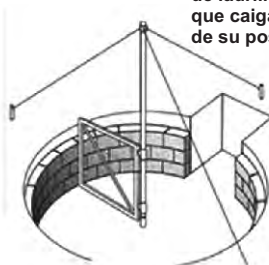


VISTA EN PLANTA

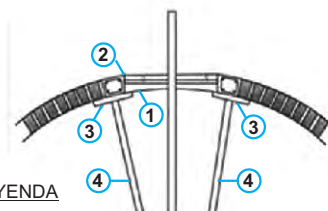
* Debe realizarse con un listón de madera ligera de 2"x 2"

7. COLOCACIÓN DE LADRILLOS EN LA CÚPULA

Usa gancho de sujeción de ladrillos, para evitar que caigan o se desplacen de su posición



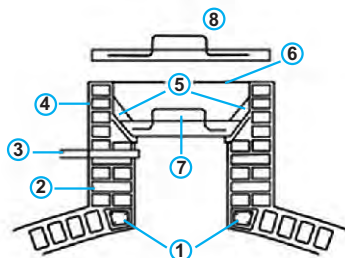
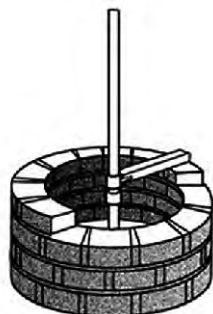
8. CONSTRUCCIÓN DEL ANILLO DEL CIERRE



LEYENDA

1. Plancha de zinc o cartón
2. Aro de encofrado (zinc o cartón)
3. Tacón de madera
4. Listón de madera

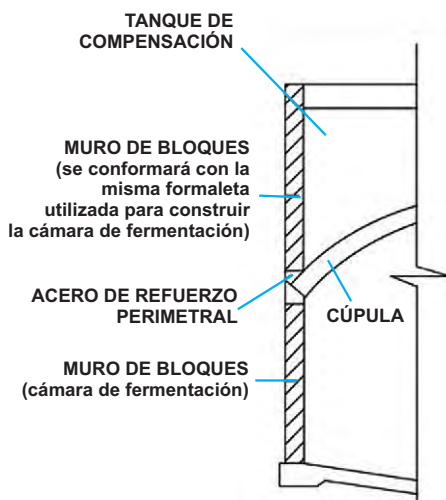
9. COLOCACIÓN DE LOS LADRILLOS MEDIANTE LA GUÍA Y CONSTRUCCIÓN DEL CUELLO DE LA CÚPULA



LEYENDA

1. Anillo de cierre
2. Ladrillo a tizón
3. Tubería para salida del gas
4. Ladrillos a soga
5. Sello de arcilla
6. Nivel de agua
7. Tapa de hormigón interior
8. Tapa de hormigón exterior

10. DETALLE EN CORTE DEL SOPORTE DEL MURO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE DE COMPENSACIÓN

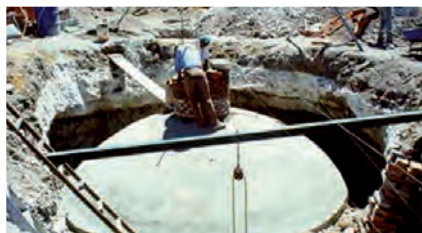


11. CÓMO OBTENER UN 1M³ DE BIOGÁS

1M³ DE BIOGÁS SE OBTIENE CON:



PRINCIPALES ETAPAS CONSTRUCTIVAS DE LAS PARTES FUNDAMENTALES DE UN DIGESTOR DE CÚPULA FIJA, MODELO GBV



BIODIGESTORES DE CAMPANA MÓVIL

DESCRIPCIÓN Y PARTES ESENCIALES DEL BIODIGESTOR DE CAMPANA MÓVIL

Los biodigestores de campana móvil o flotante, conocidos como modelo hindú, así como de sus similares, presentan en su parte superior una campana o domo que se mantiene flotando en el líquido debido al biogás que retiene en su interior. El domo puede ser de metal o preferiblemente de un material resistente a la corrosión como los plásticos reforzados.

Esta campana sube y baja dependiendo del volumen de gas que contiene, por lo que requiere una varilla guía central o rieles laterales para evitar el rozamiento contra las paredes de la estructura. En consecuencia, las partes esenciales de un digestor son (se indican en la figura):

1. **Cámara de digestión:** parte fundamental de un sistema de digestión o fermentación. En ella tienen lugar los procesos bioquímicos para la transformación de la carga y la obtención del biogás. Pueden ser de ladrillos, bloques, hormigón armado, plástico, metal u otro material que tenga las condiciones requeridas de resistencia. Cuando el material es muy susceptible a la corrosión, su superficie se debe proteger con los métodos conocidos.

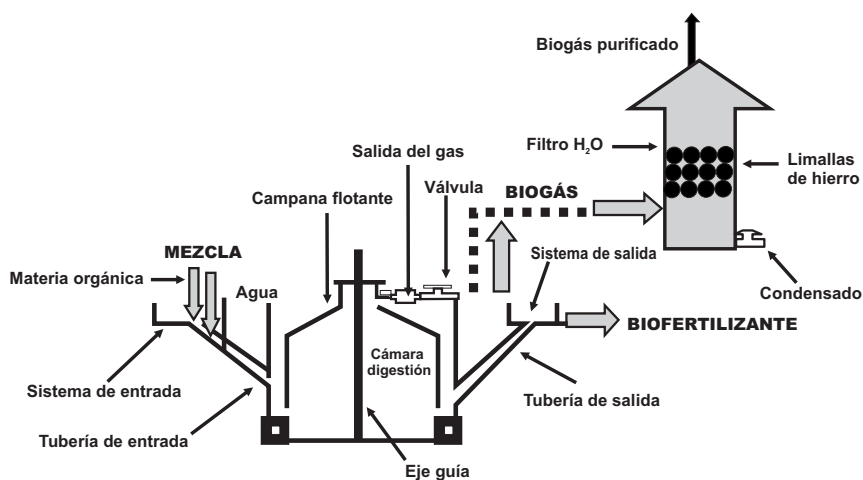
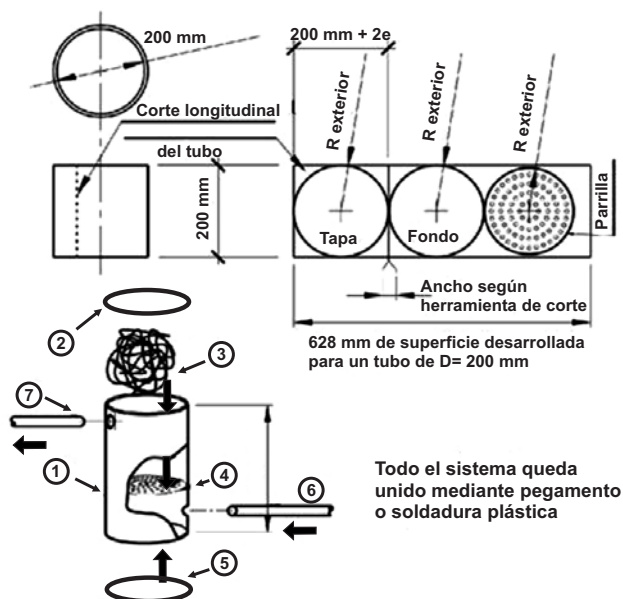


Fig.5. Partes esenciales y esquema de flujo en el biodigestor de campana móvil.

2. **Campana flotante o Gasómetro:** es la parte del sistema encargada de acumular el biogás producido durante la fermentación, por lo que se debe construir, sobre todo, a pruebas de fugas. Al igual que la cámara de digestión, el domo flotante o campana móvil puede ser de cualquier material siempre y cuando garanticen la hermeticidad. En la actualidad, se emplean con mucha frecuencia los materiales plásticos y geomembranas. La propia estructura constituyen gasómetros que pueden estar instalados en el exterior a la cámara de digestión sobre un lecho de agua o se puede instalar directamente sobre el cieno de fermentación al interior de la cámara de digestión.
3. **Sistema de entrada (sistema de carga):** es donde llega o se prepara la mezcla de la materia orgánica con agua. Su función es acondicionar la mezcla y permitir determinados controles como la eliminación de impurezas que puedan provocar obstrucciones o incidir en la eficiencia del proceso de digestión.
4. **Sistema de salida (sistema de descarga):** los efluentes líquidos como resultado del proceso de digestión se reciben en el sistema para su posterior utilización. Los niveles de invertida del sistema deben estar por debajo del sistema de carga, para garantizar la salida del material por diferencia de presión hidráulica.
5. **Sistema de purificación o filtración del biogás:** este sistema garantiza el acondicionamiento del biogás para su uso posterior. Uno de los elementos del biogás más indeseable es el sulfuro de hidrógeno (H_2S). La reducción del contenido de sulfuro de hidrógeno en el biogás, por su alto poder corrosivo, contribuye a alargar la vida útil de los equipos. Por esta razón el H_2S se debe tratar; aunque en pequeñas concentraciones (menor del 1%), no es imprescindible su limpieza. Para eliminar el H_2S en los biodigestores sencillos de bajas concentraciones se usa la viruta de hierro (fig. 6). El filtro que se utiliza para estos fines se puede conformar a partir de limallas de hierro puestas en capas y separadas por virutas de madera. Este se puede renovar cambiando el material filtrante o haciendo pasar aire caliente a contracorriente por el mismo. También se puede eliminar por absorción con Hidrato Férrico $Fe(OH)_3$, el cual se puede regenerar por exposición al aire.
6. **Sistema de eliminación de agua del biogás:** el biogás producido y almacenado tiende a tener un elevado contenido de vapor de



LEYENDA

1. Tramo de tubo d= 100 o 200 mm
2. Tapa
3. Viruta de hierro
4. Parrilla intermedio

5. Tapa de fondo
6. Entrada de biogás crudo
7. Salida de biogás sin ácido sulfhídrico

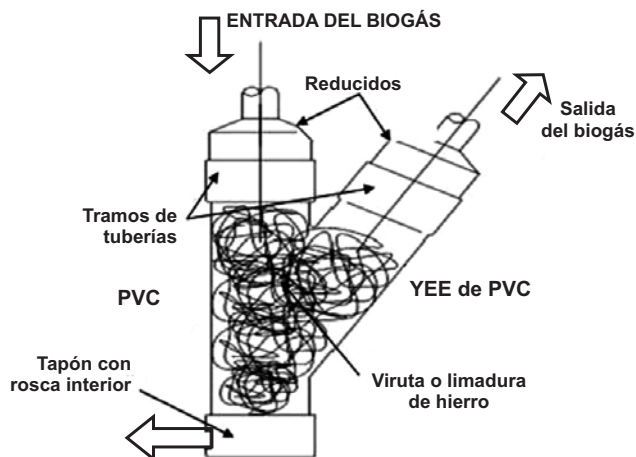
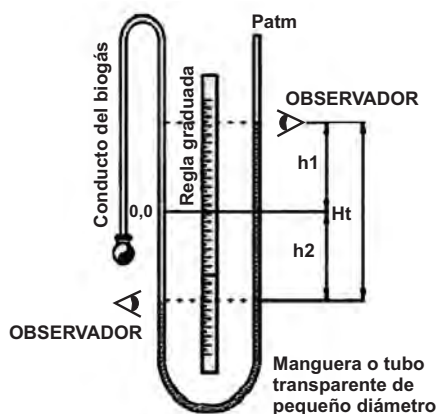


Fig.6. Trampas simples de H S de fabricación casera (montaje de una trampa de ácido sulfúrico realizada con tuberías y accesorios plásticos.

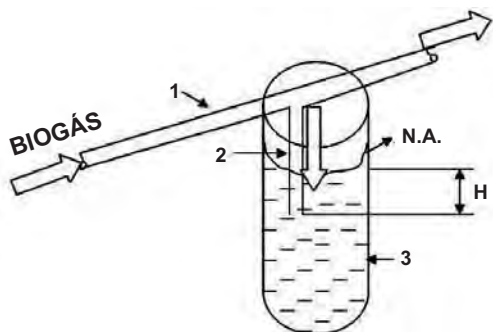
agua, que por condensación forma gotas que se depositan en los puntos más bajos de las tuberías de conducción de gas. Con el tiempo la cantidad de agua condensada aumenta, llegando a dificultar y en ocasiones a impedir el flujo normal de circulación del biogás. Por ello, es necesario eliminar esta agua condensada de las tuberías, y se logra, colocando un drenaje o una trampa de agua en la parte más baja de la tubería. Igual ocurre en los filtros de H₂S, donde también se producen condensados que hay que eliminar.

7. **Sistema de control de presión:** para estos digestores con presión constante no es preocupante. Cuando se utilizan domos plásticos o de geo-membrana, que tienen resistencias muy baja, la presión se debe medir y controlar rigurosamente para que no incidan negativamente en la vida útil del digestor conformado con dichos materiales. Las presiones bajas que se desarrollan en estos digestores se miden a través de un simple manómetro de fabricación casera (fig.7a), y su control se realiza a través de la columna de agua en un frasco cualquiera que se prepara al efecto (fig.7b).



Para conocer la presión que se desarrolla en el interior de un biodigestor se utilizan los manómetros, que en una pequeña planta de biogás son inferiores a 1,50 m de altura de agua ($0,15 \text{ kg/cm}^2$) y pueden ser elaborados de materiales sencillos por el propio usuario: una manguera de diámetro pequeño, preferiblemente transparente, que apoyada sobre una tabla vertical permita observar el agua en el interior. La superficie (menisco) de un lado está en contacto con el biogás y sobre esta se ejerce la presión que se desea conocer (en el menisco de la rama de la salida la presión es la atmosférica). Inicialmente la presión atmosférica (P_{atm}) en ambas ramas, los dos meniscos ocupan la posición 0,0. Al desarrollarse la presión p_A , ésta hace descender el menisco a la altura h_1 y ascender la altura h_2 . De este modo, al medir la diferencia entre los dos meniscos, se tiene la presión manométrica $p_A = (h_1 + h_2) = H_t$

Fig.7a. Manómetro simple de fabricación casera.



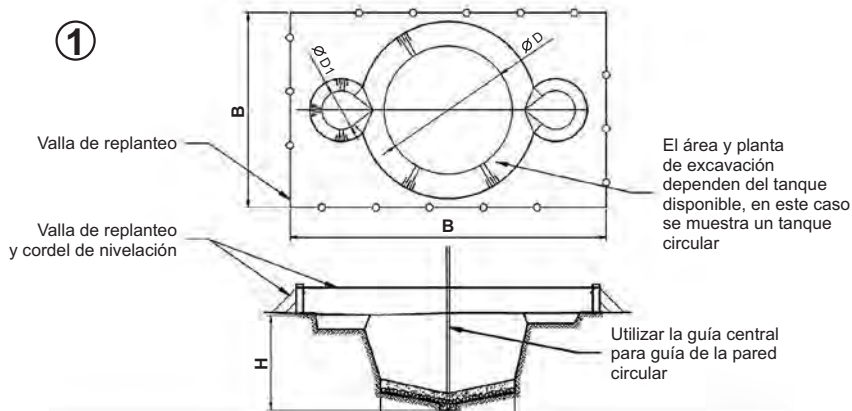
Leyenda:

- 1. Tubería central
- 2. Tubería sumergida
- 3. Frasco con agua
- N.A. - Nivel del sello de agua
- H - Presión en mm CA

La presión que se desarrolla en el interior del biodigestor de campana flotante, por lo general es muy baja, inferiores a 0,3 m de la columna de agua ($0,15 \text{ kg/cm}^2$). Esta presión puede ser regulada utilizando un frasco de cualquier material (preferiblemente transparente), en el que se sumerge un tramo de batería que sale del conducto principal del biogás. El tramo sumergido a partir del nivel de agua del frasco, será el máximo de presión (H) que puede producirse en el interior del biodigestor, ya que las pérdidas en cortas distancias son despreciables y a partir de este valor o altura (H), comienza a liberarse dicha presión por el frasco. La referida altura, puede medirse ocasionalmente, o fijarse al frasco una escala que nos permita hacer observaciones frecuentes. En cualquier caso debe velarse rigurosamente porque se mantenga el nivel de agua en el frasco para obtener lecturas confiables, no permitir escapes innecesarios ni aumento de las presiones previstas en el digestor.

Fig.7a. Regulador simple de fabricación casera.

PASOS PRINCIPALES PARA LA CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN BIODIGESTOR DE CAMPANA FLOTANTE



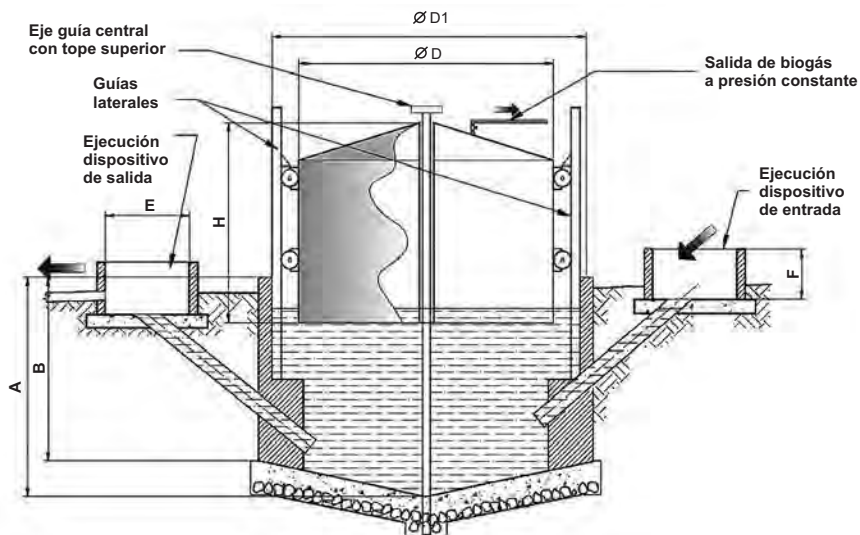


Fig.8. Pasos a seguir para el montaje de un biodigestor de campana flotante con desplazamiento por eje central y guías laterales.

Este modelo ha sido ampliamente difundido en el país y uno de los más utilizado en la región oriental de Cuba. Existen varios diseños en dependencia de la forma y posición de la campana o domo. Por lo general, la cámara de fermentación, son verticales y cilíndricos, semejantes a un pozo; en su parte superior flota una campana y su diseño permite adicionar pesos sobre ella, según la presión que se necesite. Se construyen de ladrillos revestidos con cemento o de bloques de hormigón macizados, pudiéndose utilizar otros materiales (acero o plástico) comunes en la región donde se construyan. Se le pueden incorporar sistemas de agitación en la campana, lo cual aumenta su eficiencia. En la figura de abajo, se muestran algunos de estos modelos. En ellos, se registran los mayores aportes y creatividad popular (fig.9).

En la figura 10, se ilustran diferentes etapas de la construcción y montaje de un biodigestor de campana flotante en la finca de un productor.



Fig.9. Fotografías de algunos biodigestores de campana móvil contruidos en Cuba.



Fig.10. Diferentes etapas de construcción y montaje de un biodigestor de campana flotante.

BIODIGESTORES DE BALÓN Y SUS SIMILARES. BIODIGESTORES TUBULARES

Cuba ha sido pionera en el uso de estos biodigestores, que se instalaron en el país por el Instituto de Investigaciones Porcinas en la primera década de los años 80. Desde entonces y hasta la fecha, se han ido implementando biodigestores que clasifican dentro de estos tipos, mediante diversos proyectos de colaboración.

En la segunda mitad de la década de los años 2000 se han ido introduciendo mejoras de diseño y logrando nuevos modelos prefabricados, como los del tipo CIDELSA de PVC y los llamados Biobolsas. A partir de esta década, Cuba ha sido escenario de la aplicación de biodigestores con geomembranas AQFLEX, y se realizan los primeros intentos para la fabricación de biodigestores tubulares con este material. En este caso, las geomembranas pueden ser utilizadas para cubrir lagunas y estanques de grandes capacidades (foto 1). Ello ha servido para retomar los biodigestores tipo “balón”, e inclusive la fabricación de pequeños biodigestores con ese material (foto 2). En Cuba se han instalado biodigestores experimentales con este tipo de material y son objeto de estudio para ajustar los parámetros de operación a las condiciones locales. Ello permitirá incrementar la producción de biogás y la utilización del biol en función de una mayor eficiencia y rendimiento de los cultivos. De igual manera, para el 2015 se valora en el país la posibilidad de la producción fabril de estos y otros tipos de biodigestores, en particular, para productores del sector porcino. En esta dirección, se evalúa el estado de los biodigestores implementados y se realizan encuestas a los usuarios para detectar puntos a mejorar.



Foto 1



Foto 2

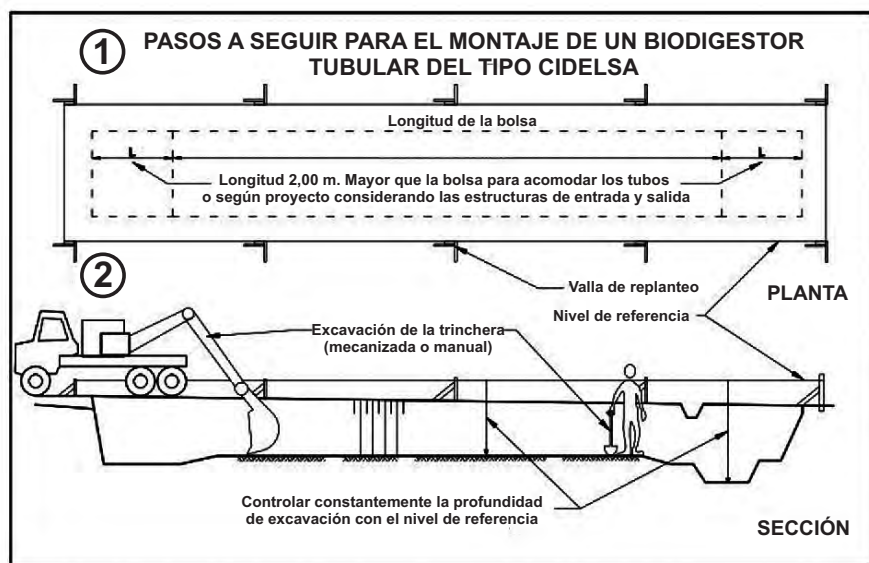
CARACTERÍSTICAS DE LOS BIODIGESTORES

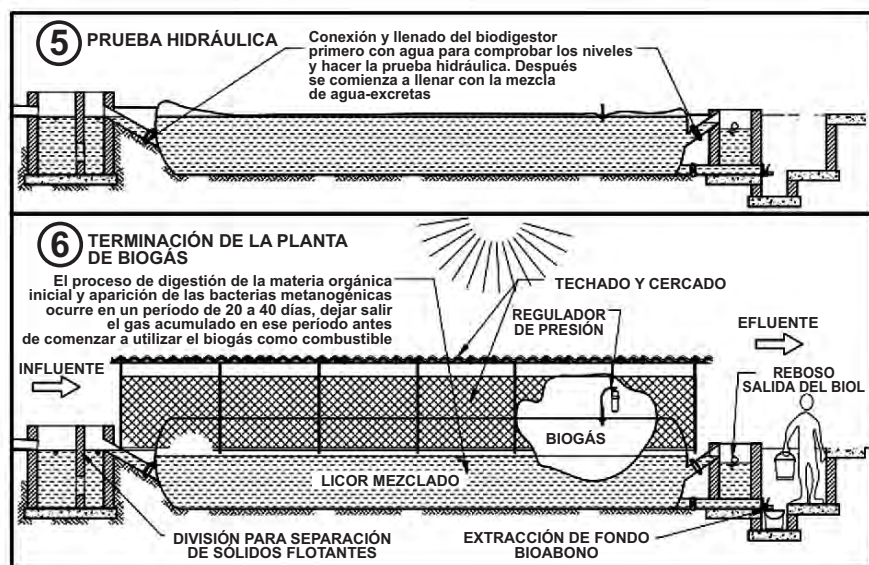
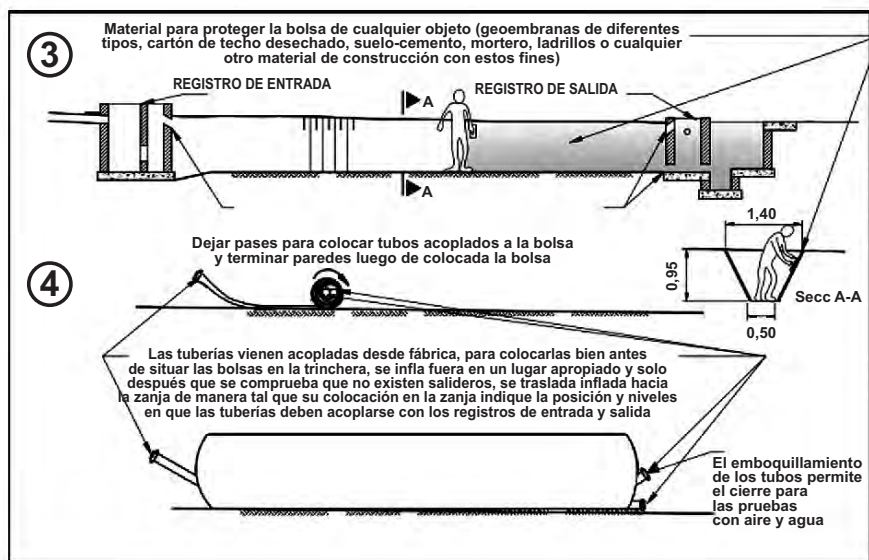
La mayor parte de los biodigestores del tipo tubular de plástico o geomembrana, se diseñan para trabajar con presiones bajas ($P \leq 150$ mm C.A.), relación de ancho y largo en una proporción superior a 1/6 y tiempos de retención mayores de 45 días. Su alimentación debe estar caracterizada por una mezcla lo más homogénea posible y libre de materias extrañas. Diluyendo el estiércol con agua en una proporción 1/3, se logra, de manera conservadora, un licor mezclado que ayuda a que no se formen espumas en la superficie, y a que la mezcla en el interior del biodigestor fluya correctamente.

Para su puesta en marcha, los biodigestores se pueden inocular con estiércol de vaca y/o lodos de otros biodigestores. La alimentación debe ser diaria y los tiempos de retención en ellos pueden alcanzar hasta 60 días.

Estos biodigestores funcionan con mayor dependencia de la temperatura ambiente y son más frágiles que los anteriores; por este motivo, es necesario su protección de los rayos ultravioletas, así como un adecuado manejo de los hombres y animales alrededor de la instalación. Debemos procurar que las oscilaciones térmicas día-noche no fluctúen mucho durante este proceso, como ocurre en otros países de Latinoamérica.

A continuación, se ilustran los pasos y las partes principales de la instalación de un biodigestor de este tipo:





En las figuras 11,12 y 13, fotografías ilustrando diferentes etapas del montaje e instalación de estos modelos:



Fig.11. Inicios de la instalación y puesta en marcha del primer biodigestor de geomembrana de PVC construido en Cuba (modelo “CIDELSA”). Fotos tomadas por el autor del trabajo.



Fig.12. Montaje de un biodigestor del modelo biobolsa. Fotos tomadas por José A. Guardado, durante su participación en el Taller Internacional de Biobolsas en mayo del 2012, México.



Fig.13. Montaje del primer biodigestor del modelo biobolsa que se instaló en Cuba, como polígono de experimentación. Fotos tomadas por José A. Guardado, durante su participación en el Taller Internacional UNICA 2012 en Morón, Cuba

TRABAJOS DE TERMINACIÓN Y ACABADOS. DETALLES Y ESPECIFICACIONES

Si los trabajos de diseño, construcción e instalación son importantes para el funcionamiento y explotación óptima de una planta de biogás, también lo son los trabajos de terminación y acabado para la puesta en marcha. Ellos garantizan la estanqueidad, debida protección, accesibilidad, operatividad, funcionabilidad y una adecuada estética en armonía con el medio circundante.

Entre los trabajos fundamentales de terminación y acabado en una planta de biogás están:

1. Repellos, estuque e impermeabilización

En los repellos y la conformación de muros generalmente se utiliza mortero con una relación de 4:1, con arena que pase por el tamiz de 3 mm. En el caso de muros verticales, en lugar de ladrillos se pueden emplear bloques de hormigón entre 0,15 y 0,20 m de espesor, aunque en estos casos generalmente resulta más costoso que si se emplearan ladrillos. Cuando se utilizan bloques en los muros del biodigestor, la literatura recomienda que sean “macizados” con mortero de cemento, con una relación de 5:1 o 6:1. No obstante, la experiencia práctica en más de 20 años del GBV, se han construido plantas con muros de bloques no macizados sin que se hayan apreciado fallas o problemas por mala impermeabilización. Los repellos por regla general no deben poseer un espesor menor de 2 cm, sobre todo cuando se trate de muros construidos sobre terrenos. El proceso de aplicación recomendable para los repellos es como sigue:

Primero: lechada de agua-cemento-arena (eventualmente) sobre la superficie.

Segundo: colocación del repello, cuya proporción mínima es de 1: 3.

Tercero: lechada de agua-cemento (según el tipo de elemento).

Este último se aplica a superficies que requieran de mayor estanqueidad, como es el caso del interior del biodigestor y los registros y cámara con niveles de agua sobre el terreno. Las proporciones recomendadas para la preparación de diferentes tipos de morteros se indican en la tabla 2.

Tabla 2: Proporciones recomendadas para la preparación de morteros

ELEMENTOS	RELACIÓN ARENA -CEMENTO
Mortero de relleno en piso, muros de bloques,etcétera.	5:1:(0,5)
Repello de muros (exteriores)	6:1:(0,3)
Mampostería	4,5:1:(0,5)
Repellos en general	4:1:(0,3)
Enlucidos	3:1:(0,3 - 0,5)

2. Estuque e impermeabilización

En las zonas donde se puede producir acumulación de gas, ejecutadas con materiales de construcción como pudiera ser al interior de la cámara de fermentación en su parte superior, es necesario además, estucar para lograr la impermeabilización. En estos casos se aplica el estuque sobre el repello. Este servirá a su vez de superficie adecuada para la aplicación de pinturas impermeabilizantes, aunque en las citadas experiencias del GBV se ha corroborado que no es imprescindible utilizar pinturas impermeabilizantes, pues bastarían varias manos de pintura de cemento con agua después del estuque. Si se fuese a emplear pinturas esmaltes o sintéticas, se deben aplicar estando la superficie bien seca, ya que en caso contrario la práctica ha demostrado que se producen desprendimientos de esta, perdiéndose el efecto de hermetizado e impermeabilizado. La pintura de cemento con agua, por el contrario, se debe aplicar sin que se seque totalmente la superficie.

Cuando la cámara de fermentación es metálica, se debe asegurar que la chapa cumpla con su efecto de hermetizado. En estos casos siempre será imprescindible para evitar fugas o salideros, un tratamiento de las láminas metálicas que conformen la estructura de dicha cámara, incluido el empleo de pinturas anticorrosivas que preserven o atenúen el efecto corrosivo del biogás, del licor mezclado y del propio proceso de fermentación. Por lo general, para las soldaduras de las planchas, así como para enmendar cualquier agujero en un depósito metálico que se fuese a utilizar con estos fines, es necesaria la presencia de un especialista o persona experimentada en estos trabajos, pues las zonas de soldaduras

son muy sensibles cuando se exponen al efecto corrosivo. Igual tratamiento se le da al domo o campana flotante cuando su chapa es de acero.

3. Rellenos y nivelación del terreno

Independientemente de las labores de rehincho, y una vez terminadas estas, en las zonas aledañas a los objetos de obra, por lo general el terreno mantiene irregularidades y acumulación de escombros y residuos como consecuencia de las labores de construcción realizadas. Es importante restaurar el terreno a su aspecto original y, de ser necesario, mejorar aún más el aspecto que ofrece la instalación en su conjunto. Estos trabajos son simples, sin embargo es notable el efecto que producen en la imagen de la instalación.

4. Trabajo de pintura en general

Como complemento de los trabajos anteriores, la aplicación de pinturas corrientes sobre superficies visibles o expuestas de los elementos y partes de la planta, constituye siempre un factor estético y de determinación lo cual hace de una planta de biogás una instalación agradable, borrando la imagen negativa de ser un lugar sucio y desagradable por emplear como materia prima desechos orgánicos. Generalmente, para ello se puede emplear una simple “*lechada*” de cal, con la que se logra el efecto estético y sanitario requerido.

5. Trabajo de protección y cercado del área

Aunque por regla general una planta de biogás no requiere de limitaciones en cuanto a su acceso, dada su ubicación, la presencia de animales y aves de corral o de personas ajenas a la instalación y que desconocen su funcionamiento pueden producir averías por tupición en los conductos de entrada, golpes en zonas sensibles (como el cuello del biodigestor), eventuales manipulaciones de válvulas y registros de la tubería que conducen el gas, etc. Por ello se aconseja la colocación de una cerca perimetral que limite el acceso a la planta y la proteja de la ocurrencia de este tipo de percances. También se debe evaluar con la debida antelación, a fin de que en el balance de los recursos necesarios se contemple este importante aspecto.

TRABAJOS DE PUESTA EN MARCHA, EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO

La puesta en marcha de una planta de biogás requiere de un grupo de operaciones que aseguran su explotación. De conjunto con los mantenimientos, en tiempo y forma, garantizan el éxito del funcionamiento en el periodo para el cual fue concebida.

Los aspectos principales a tener en cuenta para el logro de este propósito, se relacionan a continuación:

- Después de ser construido el biodigestor, la cámara de fermentación, si es de mampostería u hormigón se debe curar, es decir, debe estar llena de agua sin carga orgánica durante 10 o 12 días. En la práctica esta operación se ha realizado con éxito, empleando directamente el licor mezclado en el citado periodo. Para ello, en ningún caso la carga se deberá hacer bruscamente.
- La carga del digestor se debe hacer tan rápido como se pueda (durante la etapa de acabado se puede acumular la mayor cantidad de excreta posible para disponer del volumen necesario). Al igual que en el punto anterior, en ningún caso la carga se deberá hacer bruscamente.
- Una vez lleno el digestor, no se debe adicionar más mezcla hasta pasados 15 días aproximadamente. Las bacterias metanogénicas no aparecerán hasta después de transcurridas las etapas de hidrólisis y acidificación. En casos de realizar la carga con excretas vacunas, puede que se reduzca el tiempo de aparición de las referidas bacterias por la presencia de estas en sus heces fecales.
- El tiempo de puesta en marcha se puede disminuir también, utilizando un inóculo proveniente de otro digestor en operación donde ya existe la presencia de las bacterias metanogénicas.
- Dejar abierta la válvula de salida del gas durante el periodo de espera (para dejar escapar el aire). Durante este tiempo, escapa el gas inicial que puede ser explosivo, peligroso y saturado de dióxido de carbono (CO_2), evitando su inflamación y encendido.
- Una vez transcurrido el periodo de espera se cierra la válvula y se comen zará a desplazar la campana hasta llegar al tope. Una vez en el tope, se deja que comience a burbujear el gas por el extremo inferior de la campana. Se mide la altura del nivel que está sumergido en esas condiciones. La lectura de esa altura deberá coincidir con la presión calculada en mmCA. De no haber

coincidencia habrá que regular el desplazamiento de la campana para obtener la presión deseada o asumir la lectura como la verdadera presión de trabajo.

EXPLOTACIÓN

Durante todo el periodo de explotación se deben tener en cuenta los aspectos siguientes:

- La mezcla de la excreta de diferentes animales mejora la producción de biogás de la planta.
- Evitar que penetre tierra o arena al interior del digestor (estos materiales ocupan volumen y no alimentan a las bacterias metanogénicas).
- Evitar la presencia de restos de forraje y pajas (estos materiales forman costras que impiden el movimiento del agua y la salida del gas).
- Evitar la presencia de residuos de aceite, jabón, detergentes o antibióticos (estos materiales pueden destruir las bacterias metanogénicas e inhibir el proceso).

MANTENIMIENTO

La periodicidad de las labores de mantenimiento depende de las condiciones específicas de cada digestor. En todos los casos se requiere de las siguientes labores:

- Eliminación de la nata y el sobrenadante.
- Eliminación del sobrenadante y extracción de lodos de la cámara de fermentación.
- Chequeo del estado de las partes y conexiones del digestor.
- Drenaje de las arenas y condensados en los puntos bajos de las tuberías.
- La planta de biogás debe ser un lugar agradable y acogedor, por ello pintar y mantener la limpieza es tan necesario como su adecuado funcionamiento.

PRECAUCIONES

En muchas plantas de biogás, a pesar de estar bien construidas y de contar con la suficiente materia prima, no se obtienen los resultados esperados en la producción de gas, ya que no se operan correctamente, lo que ocasiona en algunos casos su abandono total por parte del usuario.

Algunos de los problemas y posibles soluciones que pueden conducir a esa funesta situación se presentan a continuación:

1. Al fogón no llega gas o el manómetro no indica presión.
 - La llave principal está cerrada. Abra la válvula.
 - Escape de gas. Verifique con una solución jabonosa los posibles salideros y elimínelos.
2. Poca producción de gas y baja presión en el digestor.
 - Problemas en la alimentación. Alimente correctamente y en las porciones recomendadas durante 15 días sostenidamente como mínimo al digestor.
 - Escape de gas o ceno de fermentación. Cierre la válvula de gas a la salida de la campana y observe si el nivel del líquido en la cámara se mantiene. Ello le permitirá conocer si es una de esas causas o ambas y elimínela.
 - Otras causas. Desbalance de nutrientes, parámetros fuera de rangos, etc. Consulte con un especialista.
3. Llama de gas oscilante.
 - Las boquillas están sucias. Límpielas.
 - La tubería está bloqueada por agua. Elimine el agua accionando la válvula ubicada en la trampa de agua.
5. Excesivo consumo de gas.
 - Las boquillas no poseen el diámetro de tobera adecuado. Llévelo a los diámetros recomendados, según su presión de trabajo.
 - La distancia entre la llama y la cazuela o recipiente es muy grande. Ajuste la distancia.
 - Los calderos que se están utilizando no son los recomendados para trabajar con biogás.
6. Llama muy pequeña.
 - La boquilla del quemador es muy pequeña. Debe abrir la boquilla entre 2 y 3 mm para un fogón doméstico; y entre 5-7 mm para fogón industrial.
 - Diámetro de tubería extremadamente pequeño utilizado en determinado tramo de la conducción del gas. Cámbielo.



El tratamiento de aguas residuales para las producciones pecuarias representa un importante elemento para garantizar sistemas productivos ecológicamente sostenibles.

En el ámbito del proyecto Tierra viva se desarrollan un conjunto de actividades para la promoción de sistemas adecuados de tratamientos de aguas residuales para instalaciones pecuarias como la promoción de biodigestores que pueden ser parte de un sistema de tratamiento. Estas actividades tienen el objetivo principal de dar respuestas a las necesidades de prevenir los riesgos de contaminación de aguas y suelo. Al mismo tiempo pero permiten aprovechar energía, como el biogás, y residuales como fertilizantes.

En este manual se recopila la información para poder realizar biodigestores de pequeñas y medianas dimensiones que se adaptan al contexto de la familia campesina cubana.

