

El Dr. José Antonio Guardado aporta una obra útil de divulgación científico-popular, concebida como un manual del usuario de pequeñas plantas de biogás, con la intención de aportar los conocimientos básicos que permitan aprovechar todas las bondades y beneficios de los biodigestores y, con ello, poder contribuir de manera sostenible a la generalización o extensión práctica de la tecnología del biogás, mediante las llamadas plantas sencillas, como una respuesta a la crisis ecológica y energética contemporánea, con el potencial de los residuos orgánicos que se generan en el mundo y, particularmente, en Cuba.

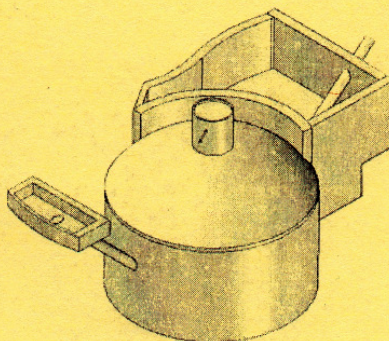
JOSÉ ANTONIO GUARDADO CHACÓN (Santa Clara, 1952). Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Auxiliar Adjunto de la Universidad Central de Las Villas e Investigador Agregado. Miembro fundador y actual vicepresidente primero de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC). Miembro de CUBASOLAR. Presidente de los comités organizadores de varios eventos nacionales e internacionales relacionados con la tecnología del biogás. Especialista en proyectos y coordinador del Grupo ECOSUR.

Ejemplar firmado y numerado por el autor.

JOSÉ ANTONIO
GUARDADO
CHACÓN

Tecnología del biogás

Manual del usuario



editorial
CUBASOLAR

INTRODUCCIÓN

El propósito principal de este material es que usted conozca las herramientas fundamentales para operar, mantener y explotar racionalmente, como usuario, su planta de biogás, a partir del ejemplo de la instalación construida en el municipio Bartolomé Masó, Granma, en noviembre de 2005.

Este folleto también está concebido para que usted adquiera los conocimientos básicos que le permitan aprovechar todas las bondades y beneficios que estas instalaciones ofrecen, y con ello poder contribuir de manera sostenible a la generalización o extensión práctica de la tecnología del biogás, mediante las llamadas plantas sencillas, como una respuesta a la crisis ecológica y energética contemporánea, con el potencial de los residuos orgánicos que se generan en el mundo y, particularmente, en nuestro país.

La bibliografía especializada reseña de diversa manera la historia y la naturaleza del biogás, pero todos coinciden en señalar que es el gas biológico combustible obtenido mediante la digestión anaerobia de los compuestos o materia de origen orgánico, cuyo principal componente es el metano (CH_4), e identificado por primera vez en 1667, por Shiley, como «gas de los pantanos». Se afirma que la primera instalación de biogás se construyó en 1859 en Bombay, India, para el tratamiento de excretas humanas, y el biogás que en ella se generó fue utilizado para el alumbrado. Por lo tanto, el origen y el uso del biogás data desde los siglos XVII y XIX, respectivamente, y es por ello que, en el contexto de este *Manual del usuario*, expondremos por qué el biogás continúa interesándonos.

EDICIÓN

Y DISEÑO: Alejandro Montecinos Larrosa

CORRECCIÓN: Lourdes Tagle Rodríguez
y Jorge Santamarina Guerra

ILUSTRACIONES: Yoandro Rodríguez Ponce
y J. Cortada

© José Antonio Guardado Chacón, 2006

© Sobre la presente edición:
Editorial CUBASOLAR, 2006

EDITORIAL

UBASOLAR Calle 20 No. 4113, esq. a 47, Miramar, Playa,
Ciudad de La Habana, Cuba.
Tel.: (537) 2059949.
e-mail: editora@cubasolar.cu
<http://www.cubasolar.cu>

¿POR QUÉ EL BIOGÁS NOS INTERESA?

Todos hablan del biogás como algo que está de moda y se repiten los mismos errores continuamente en muchas de las soluciones que se aportan. Por eso, entre otras causas, el biogás nos debe interesar, sobre todo porque el 2006 ha sido declarado, por la Asamblea Nacional del Poder Popular, «Año de la Revolución Energética en Cuba».

La agudización de la crisis económica por la que el mundo atraviesa, ha impuesto a los países en desarrollo la necesidad creciente de buscar soluciones, con recursos nacionales, a los problemas y demandas de su economía, y de preparar a la población para que esta aprenda a sobrevivir bajo circunstancias y condiciones adversas. Es por ello que la búsqueda de soluciones encaminadas a resolver estos problemas y dificultades representa la mejor manera de trabajar por el propio desarrollo y subsistencia.

El mundo actual enfrenta dos problemas básicos para la existencia y el progreso futuro de la humanidad:

- La detención de la creciente contaminación ambiental.
- La búsqueda y obtención de nuevas fuentes de energía.

Dentro de las distintas posibilidades tecnológicas que se investigan y desarrollan en diversos campos, como solución a estos problemas, se destaca la tecnología del biogás, por su cada vez más creciente aplicación y empleo.

La tecnología del biogás está bien adaptada a las exigencias ecológicas y económicas del futuro, por lo que se le considera una tecnología de avanzada.

¿QUÉ ES EL BIOGÁS?

El biogás es un gas compuesto por alrededor de 60 % de gas metano (CH_4) y 40 % de bióxido de carbono (CO_2). Contiene mínimas cantidades de otros gases, entre ellos 1 % de ácido sulfhídrico (H_2S). Es un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de 700 °C, y su llama alcanza una temperatura de 870 °C. Con un contenido de metano mucho menor de 50 %, el biogás deja de ser inflamable. Su poder calorífico promedio es de 5 000 kcal. Un metro cúbico de biogás permite generar entre 1,3-1,6 kWh, que equivalen a medio litro de petróleo, aproximadamente.

El biogás puede ser utilizado como cualquier otro combustible, tanto para la cocción de alimentos, en sustitución de la leña, el kerosene, el gas licuado, etc., como para el alumbrado, mediante lámparas adaptadas. Mezclas de biogás con aire, en una relación 1:20, forman un gas detonante altamente explosivo, lo cual permite que también sea empleado como combustible en motores de combustión interna adaptados.

Los límites de sus componentes principales se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química del biogás

ELEMENTO	%
Metano (CH_4)	50-70
Dióxido de carbono (CO_2)	30-50
Nitrógeno (N_2)	0,5-3
Ácido sulfhídrico (H_2S)	0,1-1
Vapor de agua	Trazas

Es importante aclarar que este gas puede usarse como combustible sólo cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales a 50 %.

¿CÓMO PRODUCIRLO?

El biogás es producido por bacterias que se encargan de descomponer el residual orgánico, a lo que se le denomina proceso de fermentación anaeróbica, ya que se produce en ausencia de oxígeno. Materiales no orgánicos, como metales, celulosas, vidrio, etc., no son digeridos o modificados durante el proceso de fermentación, de ahí que resulten inapropiados para la obtención de biogás.

Por lo general, se puede obtener biogás a partir de cualquier material orgánico. Comúnmente se emplean las excretas de cualquier índole, la cachaza, los desechos de destilerías, los componentes orgánicos de los desechos sólidos municipales, los residuos orgánicos de mataderos, el lodo de las plantas de tratamiento de residuales, los desechos orgánicos de las industrias de producción de alimentos, los residuales agropecuarios, etcétera.

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.

Con el agua aumenta la fluidez del material de fermentación, lo cual es importante para lograr un proceso de fermentación más eficiente y, por tanto, una mayor producción de biogás. En un cieno de fermentación líquido las bacterias de metano llegan con mayor facilidad al material de fermentación fresco, lo que acelera el proceso.

El proceso de fermentación se compone de dos fases principales: la ácida y la metanogénica. En la primera se

forman los aminoácidos, ácidos grasos y alcoholes, a partir de las proteínas, grasas e hidratos de carbono disueltos en el residual. En la segunda se forman el metano, el bióxido de carbono y el amoníaco, entre otros.

La instalación destinada a la producción y captación del biogás recibe el nombre de planta de biogás. Existen múltiples diseños y formas, en función de su tamaño, materia prima (residual) que se emplea, materiales de construcción con que se construye, etc. Su variedad es tal que los modelos existentes se adaptan prácticamente a todas las necesidades y variantes que se deseen, en cuanto a volumen, materiales empleados y residuales orgánicos que se deben tratar.

Básicamente, puede afirmarse que en todos los casos el proceso de producción de biogás se efectúa en un recipiente denominado digestor, ya que en él ocurre el proceso de fermentación, similar a la digestión producida en nuestro aparato digestivo al ingerir los alimentos, que son descompuestos por la acción de las enzimas, mientras que la captación del biogás se produce mediante una campana o superficie abovedada o cilíndrica (en la mayoría de los casos), desde la cual se extrae el gas a través de una conducción por tubería o manguera.

Tradicionalmente, las plantas de biogás sencillas pueden ser clasificadas, por su diseño, en tres tipos: de balón, de cúpula fija y de campana flotante.

Según la forma en que se realiza el proceso de carga, o sea, la introducción o vertido del residual a la planta, se distinguen dos tipos:

- Plantas continuas.
- Plantas Batch (entrada del residual de manera intermitente).

Las primeras son cargadas y descargadas parcialmente todos los días, de forma periódica o permanente, mientras que las segundas son cargadas de una vez y descargadas total o parcialmente después de cierto tiempo de utilización del residual introducido para fermentar.

¿QUÉ BENEFICIOS APORTA?

Una planta de biogás es una instalación estéticamente agradable que permite, con mínimos gastos de construcción y con una atención muy sencilla en su operación, lo siguiente:

- Tratar totalmente los desechos orgánicos o residuales contaminantes, por lo que se elimina su efecto perjudicial para la salud, los malos olores y la contaminación del entorno.
- Aprovechar el biogás producido para emplearlo en las necesidades energéticas en la cocción de alimentos, en el hogar o en comedores, y eliminar así el empleo de kerosene (luz brillante), petróleo, leña o cualquier combustible que comúnmente se utilice y que pueda resultar deficitario e incómodo.
- Aprovechar el biogás en el alumbrado de viviendas o en instalaciones o locales que requieran iluminación nocturna, lo que sustituye el empleo de energía eléctrica u otro tipo de fuente energética.
- Aprovechar el biogás producido como combustible en equipos que posean motores de combustión.
- Recuperación inmediata del mejoramiento de las condiciones del medio ambiente, con un evidente beneficio ecológico.
- Incrementar en más de 25 % el rendimiento de las cosechas o huertos, con el empleo del material o lodo

que se extrae del biodigestor (bioabono), después del proceso de fermentación y producción de biogás.

- Aprovechar el material extraído del biodigestor, o sea, el bioabono, como componente nutritivo importante para la alimentación de aves de corral, peces, ganado, etcétera.
- Lograr independencia como consumidor energético y de fertilizantes químicos, con una integración total de los recursos aprovechables, dentro del ciclo productivo y social.

INVITACIÓN

Usted, que dispone de una planta de biogás, haga de ella su mejor aliado. Satisfaga las exigencias de la planta y suplirá con creces sus necesidades.

Usted ya cuenta con una planta sencilla de biogás de cúpula fija del modelo Nicara, adaptada a su gusto y características, con una tecnología limpia que, además de darle una solución ambiental a sus residuos, le facilita una energía suave que puede ser utilizada en función de sus necesidades y no genera residuos.

PUESTA EN MARCHA

Para asegurar el éxito de la operación de su digestor es fundamental realizar una adecuada puesta en marcha. Por consiguiente, es muy importante que sean respetadas las recomendaciones que ofrecemos a continuación.

Para efectuar el llenado de la planta se mezclan entre 1 y 1,5 litros de agua por kilogramo (kg) o litro de excreta fresca, procurando siempre que los sólidos dentro del digestor se encuentren en el rango de 7 a 9 %. Una vez

preparada esta mezcla, se comienza a llenar el digestor, hasta que alcance el nivel del piso del tanque de compensación o regulador de la presión.

Es muy importante que durante el proceso de llenado de la planta, a partir del nivel referido, se mantenga abierta la válvula de salida del gas, de manera que escape todo el aire contenido en su interior, en la medida en que se va llenando hasta alcanzar su nivel máximo de agua, para evitar de esta manera el agrietamiento de la cúpula por la acción de cargas de choque (llenado brusco). Después de esta operación se cierra la válvula de salida y se espera unos días, período en el cual se acumulará biogás en la cúpula. Si el llenado se produjo con excretas de vacuno o inoculo (residual extraído de un proceso de digestión anaeróbica), durante más de una semana, la válvula se podrá abrir a las 24 horas. De lo contrario, habrá que esperar que la presión dentro del digestor se eleve, lo que se sabrá al observar la salida del líquido del tanque compensador, hasta que comienza el burbujeo en la zona que comunica el digestor con el tanque de compensación, lo que indicará que el digestor alcanzó su máxima presión de trabajo y su puesta en marcha ha sido satisfactoria.

En los casos en que se tenga fácil acceso a cantidades suficientes de agua y la construcción no se haya hecho con el rigor necesario, es recomendable hacer esta prueba de puesta en marcha con agua aparentemente limpia; y para ello habrá que hacer la misma operación, pero con la ubicación de un manómetro (Anexo 1), en la tubería a la salida del gas, para medir la presión del aire acumulado en la cúpula, que desplazará el agua mientras se va llenando el digestor, hasta alcanzar la presión

máxima. Después se deja lleno durante 24 horas, y posteriormente se hacen las valoraciones correspondientes. Si la pérdida de presión, en ese tiempo, es despreciable, entonces su puesta en marcha ha sido satisfactoria, y se procederá a su llenado con excretas mezcladas con agua o agua residual, de la forma antes indicada.

El gas acumulado en la cúpula por encima del nivel de agua en la puesta en marcha se desechará abriendo la válvula colocada, a la salida, en el registro de inspección, que se utilizará como trampa de agua (H_2O), e inmediatamente se alejará unos veinte metros de las proximidades de la planta en contra de la dirección del viento (evite fumar o encender alguna llama), hasta que el gas escape completamente (recuerde que el metano es un gas combustible y altamente tóxico y su inhalación puede causar la muerte). Después cierre la planta y cuando la presión suba nuevamente puede comenzar a utilizar el biogás en la cocción de alimentos.

En la primera puesta en funcionamiento se producirá un barrido de la tubería con el mismo gas. Este gas inicial no debe ser utilizado porque está mezclado con aire y, por consiguiente, puede ser explosivo y peligroso (incluso, es posible que no sea combustible por el alto contenido de CO_2), por lo que se recomienda dejarlo escapar a la atmósfera sin estar conectado al fogón, de la misma forma explicada anteriormente.

PRECAUCIONES

El agua que se utilice en la mezcla no debe ser clorada. Si es suministrada a través de algún acueducto, se recomienda que no sea directamente de la red, ya que en el biogás hay colonias de microorganismos que

pueden morir o disminuir su actividad metabólica por la acción del cloro. Además, esta agua no puede contener ningún desinfectante ni agente tóxico, en concentraciones que dañen los microorganismos metanogénicos, como ácidos, detergentes no biodegradables, aceites, lubricantes, antibióticos, etcétera.

Debe tenerse cuidado que en el interior del digestor no penetre tierra o arena, pues forman sedimentos difíciles de extraer, así como restos de forraje y pajas, los cuales crean costras superficiales que disminuyen el nivel de efectividad del digestor y dificultan su explotación y mantenimiento.

Desde el momento en que se empieza a utilizar el biogás producido, la alimentación debe hacerse regularmente (diario) con una proporción volumétrica de una unidad de estiércol por una de agua, lo que equivale a 60-80 kg de estiércol (una carretilla). La proporción de la alimentación puede variar de acuerdo con las condiciones del estiércol utilizado. Si es muy seco y denso, puede llegar hasta tres litros de agua por kilogramo o litro de estiércol.

En la práctica, la periodicidad de la carga puede variar desde uno hasta siete días, en dependencia de las posibilidades del usuario, siempre y cuando la producción satisfaga sus necesidades.

La alimentación debe hacerse preferentemente antes de las dos de la tarde, para aprovechar el calor producido por el Sol.

Al menos una vez a la semana se debe drenar el agua acumulada en la tubería, abriendo la válvula ubicada en la trampa de agua. El cierre de esta válvula debe ser instantáneo, para evitar fugas de gas. Estas últimas ope-

raciones no tienen que ser tan rigurosas y pudieran adecuarse a las facilidades del usuario.

Debe verificarse la no existencia de salideros en las tuberías conductoras, mediante el empleo de agua con jabón en todos los empalmes, juntas y presillas.

EXPLOTACIÓN

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, simplemente por no ser operada de manera correcta, lo que ocasiona en algunos casos su abandono total por parte del usuario. Si importante es el buen diseño y la adecuada construcción de la planta, un papel mucho más importante lo desempeña la correcta explotación, ya que existe una variedad de factores que influyen sobre la producción de biogás y ocasionan problemas, como los que tratamos a continuación.

PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES

1. *El digestor no tiene 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.
- Las bacterias no trabajan todavía correctamente. Calcule el tiempo en que llenó el digestor. No puede ser menos de treinta días. Si tiene mal olor, pare la alimentación. El pH es un parámetro que aporta información importante sobre el buen funcionamiento: debe estar entre 6,5 y 8,5. Si el pH es más bajo, alimente el digestor con una solución de lechada de cal, hasta restable-

cerlo. Si pasados 45 días el problema persiste, comuníquese con el especialista de CUBASOLAR.

2. *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.
3. *Excesivo consumo de gas o poca existencia.*
- La distancia entre la llama y la cazuela o recipiente es muy grande. Ajuste la distancia.
 - Diámetro incorrecto de las boquillas. Adécuelo (si nunca antes había usado el fogón).
 - Fugas de gas. Detectar, con una solución de jabón, las burbujas que indican escape de gas. Elimine los escapes.
 - No ha alimentado la planta. Atiéndala adecuadamente.

4. *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. Esta planta, del tipo Nicarao (Anexo 2), está provista de una tubería de fondo para la extracción del lodo digerido. Es importante que esta extracción se efectúe dos veces a la semana y, preferentemente, en el horario de la mañana, antes de utilizar el gas almacenado, para garantizar de esta manera la mayor presión posible y facilitar la extracción del lodo. Esta operación deberá realizarse igualmente de manera instantánea: permitir la extracción del lodo digerido y evitar mucha pérdida de presión.

MANTENIMIENTO

No existe una recomendación exacta sobre la periodicidad con que se deben realizar las labores de mantenimiento a los digestores de biogás, debido a que dependen de las condiciones específicas de cada lugar.

A continuación le ofrecemos una relación de las labores que deben contemplarse en el mantenimiento a los digestores de biogás, acompañadas de nuestras sugerencias en cuanto a su periodicidad.

1. Semanalmente se deben controlar las uniones, empalmes y presillas con agua jabonosa, para detectar salideros.

2. Eliminación de la nata o sobrenadante. La frecuencia con que se realice esta operación depende del cuidado que se ponga en introducir al digestor la excreta libre de pajas, fibras, así como de la calidad de la mezcla que se logre. Se hará siempre que se compruebe que se está afectando la producción de biogás, por la formación de la costra. Para atenuar este problema es recomendable cerrar la válvula del digestor y dejar que alcance su presión máxima y trabaje burbujeando durante 15-20 minutos, como mínimo.

3. En todas las plantas se deben prever trampas para eliminar el ácido sulfhídrico (H_2S). Estas trampas deben limpiarse cada quince días, de manera que se drene el condensado allí acumulado (Anexo 3).

4. Eliminación periódica de la excreta seca que se crea en el tanque de compensación, que dificulta el movimiento del efluente. Si esta operación se hace diariamente, por problemas estéticos y de higiene, el tiempo que hay que dedicarle a esta tarea puede ser despreciable, entre uno o cinco minutos.

5. Chequear cada tres meses el estado de la manguera flexible que une la cocina con el resto de la instalación, y sustituirla en caso de que sea necesario. De la misma forma y con igual frecuencia, chequear los aditamentos de la cocina.

CURIOSIDADES

El poder calórico del biogás, con concentraciones entre 50 y 70 % de metano CH_4 , es de 4 700 a 6 500 kcal/m³.

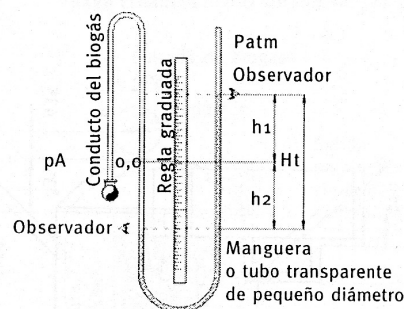
Un metro cúbico de biogás, con 70 % de metano CH_4 , equivale a:

- 0,8 L de gasolina.
- 1,3 L de alcohol.
- 0,7 L de gasóleo.
- 1,5 m³ de gas de ciudad.
- 2,7 kg de madera.

Usted cuenta con una planta de biogás que será capaz de satisfacer sus necesidades energéticas en la cocción de los alimentos de su familia. Cumpla sus exigencias y disfrute de sus bondades.

ANEXO I

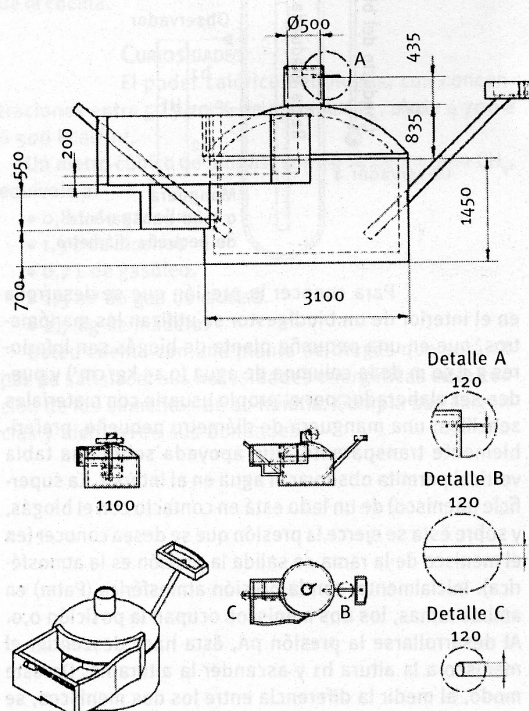
DETALLE DEL MANÓMETRO



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 la columna de agua (0,15 kg/cm²) y pueden ser elaborados por el propio usuario con materiales sencillos: 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 ésta se ejerce la presión que se desea conocer (en el menisco de la rama de salida la presión es la atmosférica). Inicialmente, con 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: $p_A = (h_1 + h_2) = H_t$.

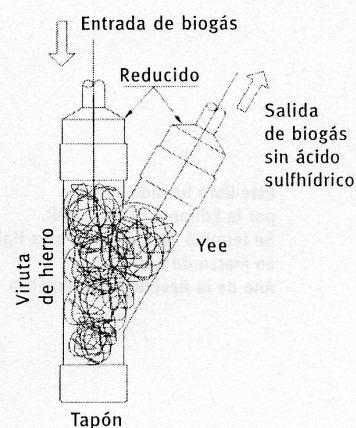
ANEXO II

PLANTA Y PERFILES DEL MODELO NICARAO



ANEXO III

DETALLE DE LA TRAMPA PARA ELIMINAR ÁCIDO SULFÚDRICO H_2S



La presencia de ácido sulfúdrico (H_2S) en el biogás, aún cuando puede ser inferior a 1 %, resulta una dificultad cuando se trata de utilizar el biogás en motores, refrigeradores, calentadores u otros dispositivos metálicos que pueden ser afectados por este gas corrosivo. Utilizando la trampa sugerida (que sustituye filtros a base de óxido de hierro), es posible eliminar el azufre. Se requiere, evidentemente, revisar y sustituir la viruta de hierro cuando se agote en el depósito, por lo que se recomiendan soluciones de diseño que permitan un acceso fácil al interior.

Este libro ha sido impreso
por la Editorial CUBASOLAR.
Se terminó de imprimir en La Habana,
en marzo de 2006.
Año de la Revolución Energética en Cuba.