

ANEXO D: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

D.1 Puesta en marcha	24
D.2 Operación	26
D.2.1 Operación diaria	26
D.2.2 Operación semanal, mensual	30
D.2.3 Operación anual	32
D.3 Mantenimiento	33
D.4 Seguridad	34
D.5 Reparación	35
D.6 Bibliografía	37

D.1 Puesta en marcha

La puesta en marcha de una planta de biogás requiere de un grupo de operaciones que junto con un buen mantenimiento en tiempo y forma garantizan el éxito del funcionamiento de la instalación. [1][2]

Para la puesta en marcha de la planta es necesaria una aportación inicial de estiércol muy elevada, puesto que se precisa de una primera llenada completa del digestor. La mejor manera de disponer de este volumen es ir almacenando el estiércol desde el inicio de la construcción del digestor, para disponer así de la cantidad suficiente para la puesta en marcha, se puede acumular en forma de pilas de compost y una vez acabada la construcción trasladarlo hasta el lugar de alimentación. [3] [4]

En función de la alimentación que tratemos en el digestor, la puesta en marcha puede tardar de algunos días a bastantes semanas. Las características de este período de arrancada serán: [3][4]

- Una calidad baja del gas, con un contenido de CO₂ superior al 60%
- Un gas de olor muy fuerte
- pH bajos
- Producción de gas fluctuante

Para que se estabilice antes el proceso se puede remover periódicamente y de forma intensiva el contenido, introduciendo dos émbolos a través de la entrada y la salida y efectuando un movimiento alterno para provocar la circulación y completa mezcla del sustrato en digestión. Si el proceso presenta una cierta resistencia a la estabilización se podrá añadir cal o estiércol fresco, sin añadir más sustrato fresco hasta que se inicie la producción de gas. [3] [4]

Cuando el volumen del gas almacenado ya es suficiente (el normal de diseño), este desplaza, por vasos comunicantes, el estiércol líquido a la cámara de expansión. Una vez esto sucede, se puede empezar a alimentar el reactor con la regularidad programada o de diseño. Las primeras producciones de biogás deberán eliminarse sin usarse, puesto que las cantidades residuales de oxígeno remanente pueden provocar problemas de explosión del gas. [3] [4]

Los propietarios de la planta deberán familiarizarse con los detalles operativos de la planta y el mantenimiento en cuanto antes. Es importante que se familiaricen con el funcionamiento teórico, y

también con el uso y funcionamiento de todas las partes. El proceso de familiarización de los usuarios se deberá comprobar con un chequeo de funcionamiento y mantenimiento. [4]

Por tanto, durante la puesta en marcha de la planta se deberá tener en cuenta:

- Acumular estiércol para el primer llenado durante la etapa de construcción
- Llenar el digestor de agua después de su construcción, durante diez o doce días (etapa de curado).
- Realizado el primer llenado, no introducir más mezcla hasta pasados quince días ya que las bacterias metanogénicas no aparecerán hasta después de transcurridas las etapas de hidrólisis y acidificación.
- El tiempo de puesta en marcha puede ser disminuido utilizando como primera carga una proveniente de otro digestor en operación donde ya existe la presencia de bacterias metanogénicas.
- Dejar abierta la válvula de salida del gas durante el periodo de espera (dejar escapar el aire). De este modo se evitan agrietamientos por la acción de cargas de choque (llenado brusco)
- Una vez transcurrido el periodo de espera, se cierra la válvula de salida y se espera unos días (periodo en el cual se acumula biogás). En este caso de llenado con excretas de vacuno, la válvula se podrá abrir a las 24 horas.
- Dejar escapar el gas inicial ya que puede ser explosivo y peligroso, o también no ser combustible por exceso de dióxido de carbono (CO₂).
- Evitar el contacto de llamas con el gas de escape ya que el metano es un gas combustible.
- Posteriormente, se cerrará la válvula y cuando la presión suba nuevamente se puede comenzar a utilizar el biogás en la cocción de alimentos.
- Se empezará a alimentar la planta con la carga regular una vez la mezcla sea desplazada y empiece a salir por el tubo de reboso. [1][2]

D.2 Operación

D.2.1 Operación diaria

Para el uso diario del digestor se llevarán a cabo los siguientes pasos:

Primero se llenará el tanque de mezclado con estiércol y agua para preparar la mezcla de entrada al digestor. Las cantidades necesarias de agua y estiércol se indican en la tabla D.1.

Para medir el volumen de agua a introducir se puede utilizar algún balde modelo del que se sepa el volumen aproximado y llenarlo tantas veces como sea necesario. En la tabla D.1 se indican el número de baldes de unos 20 dm³ necesarios para la mezcla de entrada.

Para medir la cantidad de estiércol a introducir diariamente, se puede tener en cuenta el número de vacas necesarias para su producción. Si se separan estas vacas del resto, se puede saber directamente la cantidad de estiércol a introducir en el tanque de mezclado. También se indican los baldes necesarios. Otra manera con la que se podría facilitar la medición de carga sería con una marca en el tanque de mezclado, para indicar hasta donde se debe llenar de excrementos y después otra marca para indicar hasta donde rellenar con agua.

En el caso de un biodigestor compartido por varias familias, la carga se hará de forma rotativa a cargo de las familias, por lo que la mezcla y llenado será responsabilidad de cada familia alternadamente.

	Estiércol (kg)	Vacas necesarias	Baldes (de unos 20 dm ³) necesarios	Agua (dm ³)	Baldes (de unos 20 dm ³) necesarios
Biodigestor tubular	18	3	1 y medio	65	3
Biodigestor cúpula fija	72	12	6	72	3 y medio

Tabla D.1.- Cantidades diarias de agua y estiércol necesarias para cada digestor.

El estiércol se obtiene de los corrales, habrá una persona encargada de llevar la cantidad necesaria diaria de estiércol hasta el tanque de mezclado y el agua se obtendrá del pozo más próximo al digestor, habiendo, también, una persona encargada para realizar esta tarea.

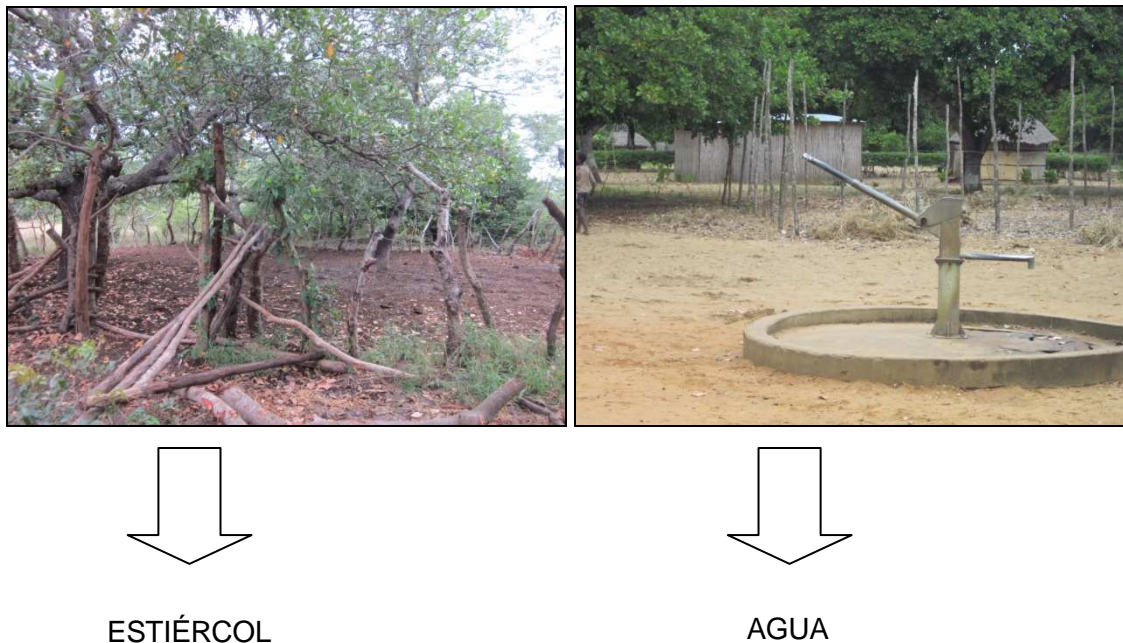


Figura D.1.- Lugares de obtención del estiércol y el agua.

Una vez recogidos tanto el estiércol como el agua y introducidos en el tanque de mezclado, se mezclarán creando el sustrato que alimentará el digestor. La mezcla se introducirá por el orificio de entrada, lo más rápidamente posible.

1. La figura D.2 muestra el orificio de entrada de la mezcla en el biodigestor tubular:

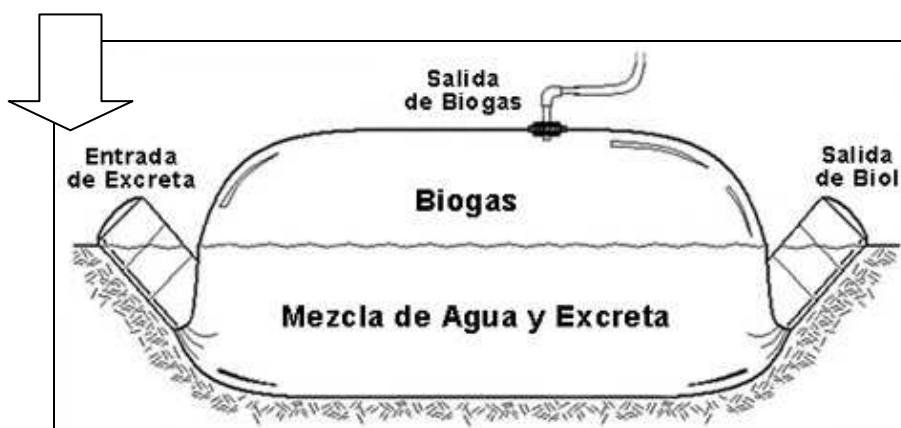


Figura D.2.- Indicación del lugar de entrada de excreta.[5]

2. La figura D.3 muestra el orificio de entrada de la mezcla para el biodigestor de cúpula fija:

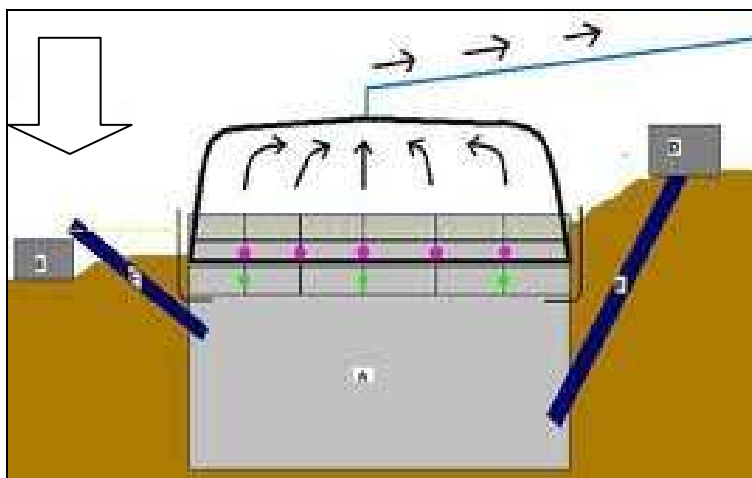


Figura D.3.- Indicación del lugar de entrada de excreta.[6]

Para el llenado del digestor de cúpula fija, una vez preparada la mezcla de entrada, se retirará el tapón del conducto de entrada para permitir el paso del sustrato hacia el interior del digestor.

Una vez introducidos el estiércol y el agua en el interior, se deberá agitar la mezcla interior. Para hacerlo se puede utilizar dos palos con palas en los extremos, introduciéndolos por el orificio de entrada y salida y realizando la mezcla manual.

1. La figura D.4 muestra el método de mezclado para el biodigestor tubular:

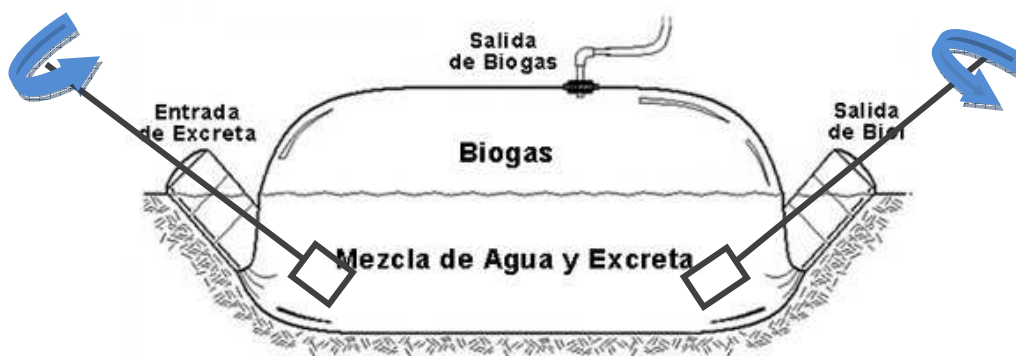


Figura D.4.- Sistema de mezclado biodigestor tubular.[5]

2. La figura D.5 muestra el método de mezclado para el biodigestor cúpula fija:

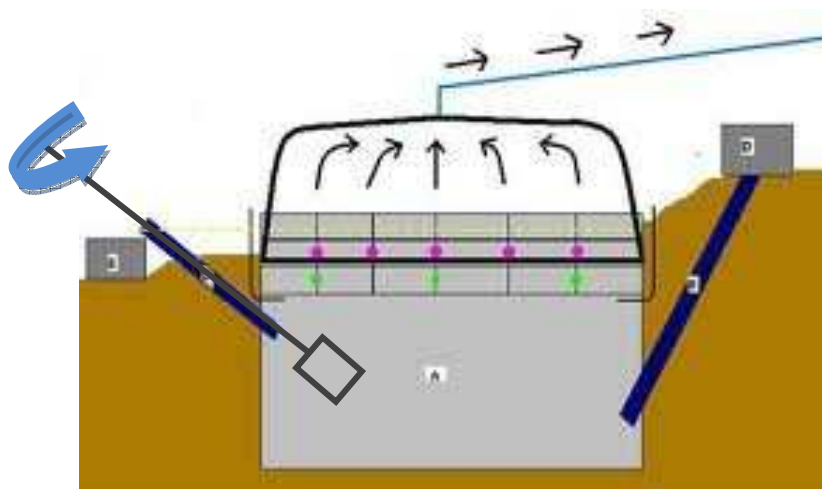


Figura D.5.- Sistema de mezclado biodigestor de cúpula fija.[6]

Una vez mezclado el interior del digestor, se limpia la cámara de mezclado.

Otro punto importante es comprobar la presión del gas. En el caso del biodigestor tubular se puede comprobar visualmente, observando la forma de la bolsa, se debe comprobar que se hincha, significando esto que se está produciendo gas en el interior. En caso de que no ocurra esto, consultar el apartado de mantenimiento del manual.

Dado que en el digestor de cúpula fija no se puede comprobar visualmente la presión del gas, se deberá comprobar que la presión de gas que llega a la cocina sea la adecuada.

Para comprobar los acumuladores de gas, se deberá observar su funcionamiento, notando un aumento en el contenido de gas en su interior cuando no se utiliza gas en la cocina y un descenso cuando se está cocinando. Comprobar que el comportamiento es bastante parecido cada día.

Mientras el digestor está en funcionamiento, se irá produciendo biol, la masa que se obtiene a través del orificio de salida cada vez que se alimenta el digestor. El color y el olor de este biol nos pueden dar una idea del buen funcionamiento del digestor. El biol debe ser casi inodoro y de un color parecido a la mezcla de entrada. Si alguno de estos parámetros no se cumplen, consultar el apartado de mantenimiento de este manual. [3][4]

D.2.2 Operación semanal, mensual

Por lo menos una vez al mes se deberá comprobar que la trampa de agua no esté llena y si lo está vaciarla y colocarla nuevamente tal y como indica la figura D.6.

El mantenimiento de la trampa de agua es necesario ya que el biogás generado se produce en un medio acuoso saturado de humedad y si la temperatura desciende durante el trayecto hacia el consumo, el agua puede condensar.

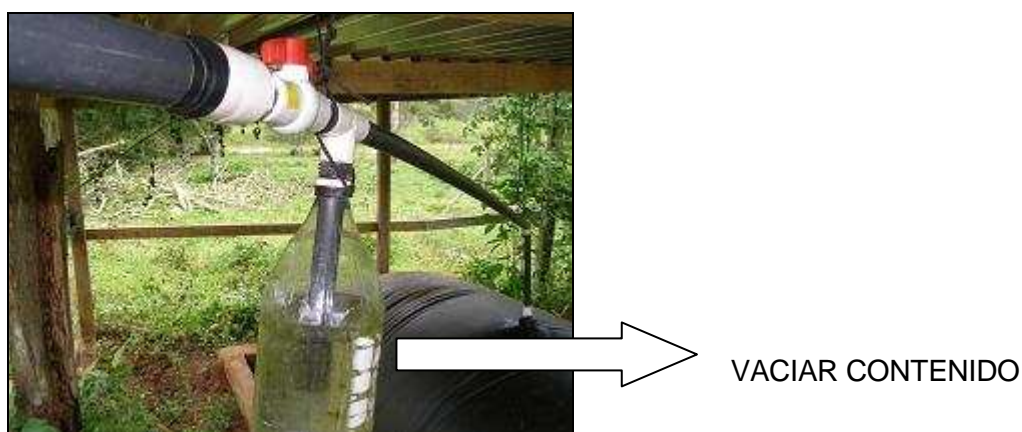


Figura D.6.- Indicación de mantenimiento de la trampa de agua.[6]

Otra de las tareas a realizar mensualmente es el vaciado y la utilización del biol. Se recogerá el biol de la salida del biodigestor, mediante cubos y se transportará en una carretilla si se puede disponer de ella, o en algún recipiente fácil de transportar y se llevará a los conreos donde se le dará uso.

En el caso concreto del digestor de cúpula fija, se debe proceder a la eliminación de sólidos y lodos del tanque de compensación para asegurar el buen funcionamiento del mismo. Este proceso se puede realizar con la ayuda de palas y carretillas para el posterior transporte hacia los campos para ser utilizados como fertilizante.

1. La figura D.7 muestra el procedimiento de extracción del biol en el biodigestor tubular, éste irá a parar a una poza donde se acumulará el biol hasta su transporte a los campos:

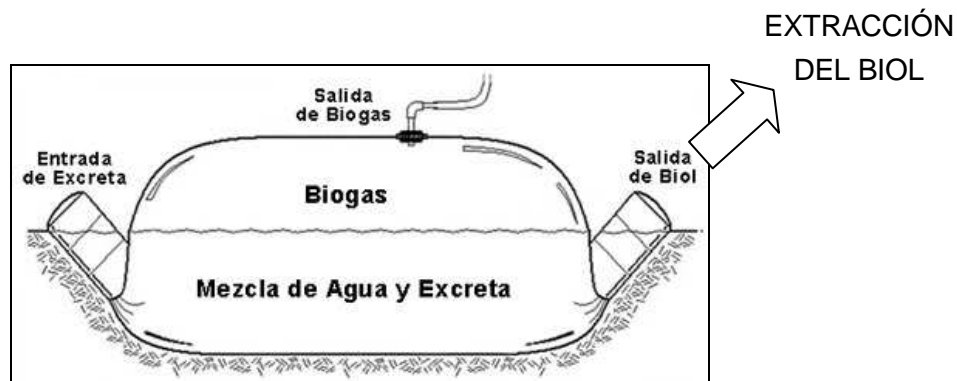


Figura D.7.- Sistema de extracción del bio en el biodigestor tubular.[5]

2. La figura D.8 muestra el procedimiento de extracción del biol en el biodigestor de cúpula fija:



Figura D.8.- Sistema de extracción del biol y de los lodos y sólidos del tanque de compensación en el biodigestor de cúpula fija.[6]

Los conreos fertilizados con el biol obtenido de los digestores serán aquellos que pertenecen a los propietarios de las vacas de las que se utiliza el estiércol. Se esparcirá el biol por los campos de cultivo y se estudiará qué cantidad y frecuencia de uso de biol es necesaria para optimizar la producción.

También se controlarán las válvulas, tuberías y acumuladores de gas una vez al mes como mínimo. Se controlará mediante inspección visual que no hayan pérdidas de gas o de líquido en ningún punto de la instalación y que los acumuladores funcionen normalmente.

En caso contrario se deberá reparar la parte dañada, ya sea alguien de la misma comunidad si el problema es de fácil solución o contactando con la empresa proveedora del material.

También se lavarán e inspeccionarán todas las aplicaciones del gas, tuberías, válvulas y acumulador. [4]

Por último cada dos meses se sustituirán las virutas de hierro oxidadas del filtro H_2S , a las que se accederá a través de las uniones universales colocadas en los extremos del filtro. Para oxidar las virutas se deben remojar y posteriormente dejarlas a la intemperie. Con 3 o 4 días estarán suficientemente oxidadas [7].

D.2.3 Operación anual

Una vez al año se deberá comprobar el nivel de espuma del interior del biodigestor y retirarla en caso de que sea preciso. Para hacerlo se deberá observar dentro del biodigestor y si aparece espuma flotando en el interior de éste se deberá retirar mediante algún utensilio que permita llegar al centro del digestor. Se puede utilizar el mismo utensilio con el que se agita el interior del digestor, por ejemplo.

También una vez al año se harán inspecciones más rigurosas al digestor, como controlar la permeabilidad al agua y al gas, hacer un test de presión a las válvulas, tuberías y acumuladores de gas y revisar las posibles fisuras del acumulador y repintarlo si es preciso.

Las mismas familias que utilizan el biodigestor pueden detectar ciertas fugas, o falta de permeabilidad de manera visual pero en este tipo de inspecciones sería mejor contar con la ayuda de alguna empresa externa más especializada en este tipo de instalaciones. Los mismos proveedores de los materiales pueden proporcionar información sobre este tipo de inspecciones, incluso los mismos proveedores podrían realizar estas inspecciones anuales. [4]

Por último, se cambiará la viruta de hierro que se utiliza como cortafuegos en el caso que la llama del quemador penetre en la conducción. Para cambiarla se aprovechará la tee de la válvula de seguridad, por donde se accederá a la viruta. [7]

D.3 Mantenimiento

El mantenimiento preventivo de la planta, son una serie de acciones que se deberán realizar para asegurar un alto nivel de producción de biogás, el buen funcionamiento y asegurar una larga vida útil de la planta. [4]

Por lo que el mantenimiento deberá prevenir las disfunciones operacionales, e intentar detectar las posibles causas en caso de mal funcionamiento para así poder reparar la planta, como se resume en la tabla D.2. [4] La disfunción más habitual es una insuficiente producción de biogás. Las acciones a realizar de mantenimiento a la planta son las siguientes:

Factor de detección	Causa	Efecto en el funcionamiento y remedio	Remedio
Presión del gas demasiado alta	Consumo menor a la producción, almacenaje lleno	Mal funcionamiento de la válvula de seguridad.	Limpiar o cambiar la válvula de seguridad.
Presión del gas demasiado baja	Consumo mayor que la producción o existencia de escapes.	Producción de gas baja.	Detectar la fuga y sellarla
Detección de baja producción de gas	Razones biológicas: temperatura, sustrato, antibióticos, cambio de valor del pH. Atasco en el digestor o en las tuberías.	1. Producción baja de biogás, no puede alimentar la demanda de gas requerida. 2. Mal rendimiento. 3. Obstrucción en tuberías.	1. Comprobar la calidad del biol. 2. Detectar las causas biológicas y equilibrar los parámetros con los establecidos. 3. Comprobar tuberías y desatascarlas
Olor fuerte de fertilizante.	Planta saturada, tiempo de fermentación menor al requerido	Rendimiento menor y malestar de los usuarios.	Reducir la cantidad alimentada de sustrato

Tabla D.2.- Resumen de las acciones de mantenimiento. [3].

D.4 Seguridad

Se fijan una serie de normas de conducta para los usuarios de las plantas para evitar incidentes y asegurar la seguridad de las personas que lo utilicen, resumidas en la tabla D.3. Cuando se opera una planta de biogás se debe prestar especial atención a los siguientes peligros [3] [4]:

Peligro	Norma de seguridad, modo de actuación
<ul style="list-style-type: none"> • Envenenamiento o muerte por respiración de biogás en altas concentraciones y en largos periodos de tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas de operación bien ventiladas. • Revisar las tuberías de gas y acumuladores para asegurar impermeabilidad al gas. • Instrucción de la gente en contacto con la instalación.
<ul style="list-style-type: none"> • Peligro de fuego y explosión en caso de vaciado de la planta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy buena ventilación de la instalación. • No acercar fuego al digestor.
<ul style="list-style-type: none"> • Explosión por contacto de fuego con biogás muy inflamable al ser mezclado con aire, especialmente peligroso en el llenado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Todo tipo de fuego y llama debe de ser prohibido dentro y alrededor del digestor.
<ul style="list-style-type: none"> • Peligro de caída. 	<ul style="list-style-type: none"> • Digestor y tanque de almacenamiento del biol construidos para evitar que ninguna persona o animal puedan caer dentro.
<ul style="list-style-type: none"> • Peligro de quemaduras por contacto con superficies calientes de las aplicaciones del biogás. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar carcasas de materiales no conductores.
<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación radiactiva en caso de uso de lámparas de biogás. 	<ul style="list-style-type: none"> • El manto debe de ser cambiado con mucho cuidado y se deben limpiar las manos inmediatamente después.
<ul style="list-style-type: none"> • Peligro de caídas con el sistema de tuberías alrededor de la planta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Al ser posible, las tuberías deberían ser enterradas algunos centímetros bajo tierra. Los elementos que precisen de control, como válvulas y la trampa de agua pueden ser cubiertas con una tapa.

Tabla D.3.- Resumen de posibles peligros y modos de actuación. [3]

D.5 Reparación

Aunque el buen diseño y la construcción de la planta son muy importantes, la correcta explotación juega también un papel muy importante ya que existe una variedad de factores que influyen sobre la producción de biogás que ocasionan problemas como los que se resumen en la tabla D.4. [2][4]

Problema	Posible causa	Solución
<ul style="list-style-type: none"> El digestor no tiene gas, el manómetro no indica presión 	<ul style="list-style-type: none"> La llave principal está cerrada Escape de gas Las bacterias no trabajan todavía correctamente 	<ul style="list-style-type: none"> Abrir la llave. Verificar con una solución jabonosa las posibles filtraciones y eliminarlas. El tiempo de llenado debe ser superior En caso de mal olor, parar la alimentación Comprobación de los niveles de PH, deben estar entre 6.5 y 8.5
<ul style="list-style-type: none"> Llama de gas oscilante 	<ul style="list-style-type: none"> Boquillas sucias Tubería bloqueada por agua 	<ul style="list-style-type: none"> Limpiar las boquillas Accionar la trampa de agua.
<ul style="list-style-type: none"> Excesivo consumo o poca existencia de gas 	<ul style="list-style-type: none"> Distancia entre llama y caldero muy grande Diámetro incorrecto de boquillas Escapes de gas No se ha alimentado la planta 	<ul style="list-style-type: none"> Ajustar la distancia Adecuar el diámetro de boquillas si nunca se habían utilizado antes el fogón. Utilizar solución jabonosa. Las burbujas indican pérdidas de gas. Eliminarlas. Atender correctamente la planta.

<ul style="list-style-type: none"> Llama muy pequeña 	<ul style="list-style-type: none"> Boquilla del quemador muy pequeña Diámetro de tubería extremadamente pequeño para la conducción de biogás. 	<ul style="list-style-type: none"> Abrir la boquilla entre 2 y 3 mm para fogón doméstico. Revisar el tamaño de las tuberías y adecuarlas a las necesidades.
<ul style="list-style-type: none"> Obstrucción de la tubería de entrada 	<ul style="list-style-type: none"> Material fibroso 	<ul style="list-style-type: none"> Utilizar una barra para desbloquear la tubería
<ul style="list-style-type: none"> Gasómetro atascado 	<ul style="list-style-type: none"> Espuma flotante 	<ul style="list-style-type: none"> Girar el gasómetro Abrir el gasómetro y eliminar la espuma
<ul style="list-style-type: none"> Baja producción de gas 	<ul style="list-style-type: none"> Cantidad y calidad del sustrato Determinar las posibles fugas de gas del sistema. Perturbación del proceso biológico, Olor fuerte, cambio de color del material digerido, caída del PH 	<ul style="list-style-type: none"> Inspeccionar la calidad del sustrato Añadir estiércol de ganado o mezcla sana Investigar si productos contaminantes o nocivos entran en la planta (detergentes, pesticidas, etc.) Reparar las posibles fugas, utilizar mezcla jabonosa para detectar las posibles fugas Estabilizar el PH añadiendo algún elemento.
<ul style="list-style-type: none"> Retroceso del nivel de material digerido 	<ul style="list-style-type: none"> Fuga en la planta 	<ul style="list-style-type: none"> Reparar
<ul style="list-style-type: none"> Almacenaje de gas inadecuado 	<ul style="list-style-type: none"> Fuga en el gasómetro 	<ul style="list-style-type: none"> Reparar
<ul style="list-style-type: none"> Llave de gas atascada 	<ul style="list-style-type: none"> Corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> Aplicar oleo repetidamente
<ul style="list-style-type: none"> Tubería de gas con fugas 	<ul style="list-style-type: none"> Corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> Reparar
<ul style="list-style-type: none"> Repentina pérdida de gas 	<ul style="list-style-type: none"> Tubería de gas rota Llave de gas abierta 	<ul style="list-style-type: none"> Reparar Cerrar la llave
<ul style="list-style-type: none"> Presión del gas pulsante 	<ul style="list-style-type: none"> Agua en la tubería de gas Taponamiento de las tuberías de gas 	<ul style="list-style-type: none"> Eliminar la presencia de agua Destaponar con una barilla

Tabla D.4.- Detección de problemas, causas y posibles soluciones. [3]

D.6 Bibliografía

- [1] GUARDADO CHACÓN, A. *diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*. CUBASOLAR, 2007.
- [2] GUARDADO CHACÓN, J.et al. *Biogás. Manual de explotación, Marzo 2008*.
[<http://www.ecovida.pinar.cu/energia/Documentos/Publicaciones/Tecnologia%20del%20biogas.pdf>, Octubre 2011]
- [3] INFORMATION AND ADVISORY SERVICE ON APPROPRIATE TECHNOLOGY. *GTZ PROJECT. Biogas Digest. Volume II. Biogas – Application and Product Development*. Abril 2004.
[www.gtz.de/de/dokumente/en-biogas-volume2.pdf, Octubre 2011]
- [4] WERNER, U., STÖHR, U., HEES, N. *Biogas Plants in Animal Husbandry*. Deutsche Zentrum für Entwicklungstechnologien (GATE), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.1989.
- [5] BIOERO. *Como funciona un biodigestor*.
[<http://www.bioero.com/biotecnologia/%C2%BFcomo-funciona-un-biodigestor.html>, Octubre 2011]
- [6] RURAL COSTA RICA. *Biodigester Design&Construction*
[<http://www.ruralcostarica.com/biodigester.html>, Octubre 2011]
- [7] SALMERON, IGNASI. *Aplicacions i accessoris per a sistemes de producció de biogàs de baix cost*, Proyecto Final de Carrera, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, 2008.