

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN

4.1. FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE UN BIODIGESTOR

Un biodigestor es un contenedor que produce biogás y abono natural a partir de material orgánico, principalmente excrementos (animales y humanos) y desechos vegetales. Se trata de un sistema sencillo y económico que recicla los residuos orgánicos convirtiéndolos en energía y fertilizantes para usos agrícolas, ideal para comunidades rurales y países en vías de desarrollo.

Los biodigestores son utilizados generalmente para tratar el estiércol de bovinos y porcinos, que generan una mayor cantidad de biogás. En el caso de usar este gas para generar energía eléctrica, el sistema alimenta a un motor diesel o de tipo rotativo conectado a un generador, mientras que para las aplicaciones térmicas, el gas es inyectado a un quemador que puede ser incorporado a calderas, hornos y secadoras⁶⁵

⁶⁵ <http://www.chilepotenciaalimentaria.cl/content/view/667?page=3>

4.2. CRITERIOS PARA CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR

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

Factores Humanos

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

Factores Biológicos

- Enfermedades y plagas tanto humanas como pecuarias y agrícolas

Factores Físicos

- Localización, la ubicación si es en zona urbana, rural o semi-urbana y la geografía aspectos como la latitud, longitud y altitud.
- Climáticos dentro de estos aspectos están las temperaturas máximas y mínimas, la precipitación pluvial, la humedad ambiental, la intensidad solar, los vientos su intensidad y dirección.

- Vías de acceso.
- Topografía, teniendo en cuenta el declive del suelo: si es plano, ondulado, o quebrado.
- Suelos con sus características como la textura, estructura, nivel freático y capacidad agrológica.

Factores de Construcción

- Técnicas de construcción si es de tierra compactada, cal y canto o ladrillo (barro cocido, suelo-cemento, silico-calcáreo), planchas prefabricadas, ferrocemento, concreto, módulos prefabricados.

Factores Utilitarios

- Función principal, si se construye de manera experimental, demostrativa o productiva.
- Usos, si el uso es de tipo sanitario, energético, fertilizante, integral.
- Organizativo si el biodigestor se va a construir a escala doméstica, para grupo familiar, comunitario o empresas.
- Capacidad, si es pequeño de 3 a 12 m³ / digestor; si es mediano de 12 a 45 m³ / digestor y si es grande de 45 a 100 m³ / digestor.
- Operación de la instalación contemplando aspectos como el funcionamiento de el pretratamiento, la mezcla, la carga, y controles de

pH, obstrucciones de líquidos, sólidos y gases: las descargas de efluentes tanto líquidas como gaseosas y de lodos; el almacenamiento de los líquidos, sólidos y gases; la aplicación de líquidos por bombeo, por tanques regadores o arrastre por riego; los sólidos que están disueltos en el agua y los sólidos en masa y por último los gases utilizados para la cocción, iluminación e indirectamente en los motores.

- Con el objetivo de disminuir el tamaño de los digestores se han utilizado los productos orgánicos que brindan mayor cantidad de biogás por unidad de volumen; algunos de ellos son: la excreta animal, la cachaza de la caña de azúcar, los residuales de mataderos, destilerías y fábricas de levadura, la pulpa y la cáscara del café, así como la materia seca vegetal.⁶⁶

4.3. TIPOS DE BIODIGESTORES

Hay muchos tipos de plantas del biogás pero los más comunes son el dosel flotante (indio) y el domo fijo (chino). La aceptabilidad pobre de muchos de estos biodigestores ha sido principalmente debida a los costos altos, la dificultad de instalación y problemas en la consecución de las partes y repuestos.

⁶⁶ Biodigestores. Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. Fundación Hábitat 2 de Abril de 2005 Quimbaya, Quindío Págs. 6-31.

4.3.1 Pozos Sépticos

Es el más antiguo y sencillo digestor anaeróbico que se conoce, utilizado normalmente para la disposición de aguas residuales domésticas. Se cree que de allí deriva el uso potencial de los gases producidos por la fermentación anaeróbica, para el uso doméstico.

Para la correcta operación de estos pozos es requisito indispensable aislar las aguas servidas que caen en él, de las que contienen jabón o detergentes. El efecto de los jabones y en especial los detergentes, inhibe la acción metabólica de las bacterias, razón por la que los pozos se colmatan con rapidez y dejan de operar, haciendo necesario destaparlos frecuentemente para recomenzar la operación.

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

4.3.2 Biodigestor de Domo Flotante (Hindú)

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

y normalmente varía entre 4 a 8 cm de presión de agua. El reactor se alimenta semi-continuamente a través de una tubería de entrada

4.3.3 Biodigestor de Domo Fijo (Chino)

Este reactor consiste en una cámara de gas-firme construida de ladrillos, piedra u hormigón. La cima y " fondos son hemisféricos y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme. La tubería de la entrada es recta y extremos nivelados. Hay un tapón de la inspección a la cima del digestor que facilita el limpiado. Se guarda el gas producido durante la digestión bajo el domo y cambia de sitio algunos de los volúmenes del digestor en la cámara del efluente, con presiones en el domo entre 1 y 1.5 m de agua. Esto crea fuerzas estructurales bastante altas y es la razón para la cima hemisférica y el fondo. Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construir este tipo de biodigestor (Figura 4.1). Más de cinco millones de biodigestores se ha construido en China y ha estado funcionando correctamente (FAO, 1992) pero, desgraciadamente, la tecnología no ha sido tan popular fuera de China.

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

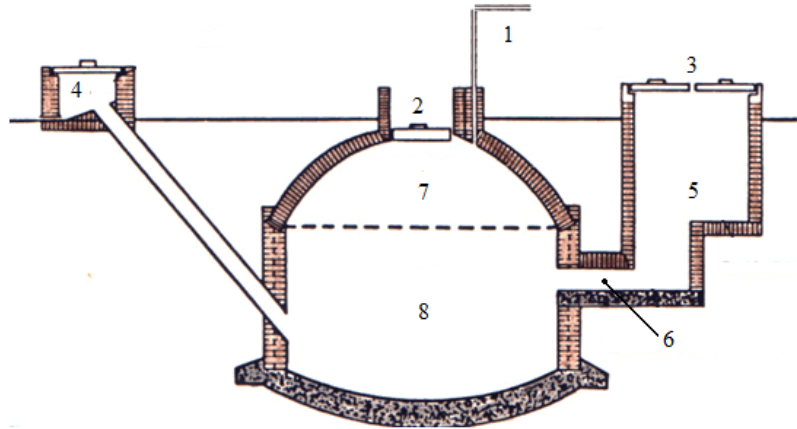


Figura 4.1: Esquema del Digestor Chino: 1. Tubería de Salida Del Gas; 2. Sello Removible; 3. Tapa Móvil; 4. Entrada; 5. Tanque de Desplazamiento; 6. Tubería de Salida; 7. Almacenamiento de Gas; 8. Materia Orgánica.⁶⁷

4.3.4 Biodigestor de Estructura Flexible

La inversión alta que exigía construir el biodigestor de estructura fija resultaba una limitante para el bajo ingreso de los pequeños granjeros. Esto motivó a ingenieros en la Provincia de Taiwán en los años sesenta (FAO, 1992) a hacer biodigestores de materiales flexibles más baratos. Inicialmente se usaron nylon y neopreno pero ellos demostraron ser relativamente costoso. Un desarrollo mayor en los años setenta era combinar PVC con el residuo de las refinerías de aluminio producto llamado "el barro rojo PVC."

Esto fue reemplazado después por polietileno menos costoso que es ahora el material más comúnmente usado en América Latina, Asia y África.

⁶⁷ http://es.wikipedia.org/wiki/Biodigestor/biodigestor/biog_c3.htm

Desde 1986, el Centro para la Investigación en Sistemas Sustentables de Producción Agrícola (CIPAV), ha estado recomendando biodigestores de plástico económico como la tecnología apropiada por hacer mejor uso de excrementos del ganado, reduciendo la presión así en otros recursos naturales.

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



Figura 4.2: Biodigestor de Polietileno.⁶⁸

Estos biodigestores pueden tener una durabilidad de 20 años, en el caso de presentarse rupturas de este pueden ser fácilmente reparadas del mismo material del biodigestor usando un adhesivo fuerte, la parte reparada debe permanecer seca hasta su endurecimiento por completo. Cuando se necesita el metano solo

⁶⁸ Biodigestores una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. Fundación Hábitat 2 de Abril de 2005 Quimbaya, Quindío, página 10

se ejerce una pequeña presión sobre la bolsa de almacenamiento moviendo de esta forma el biogás a donde se necesita.

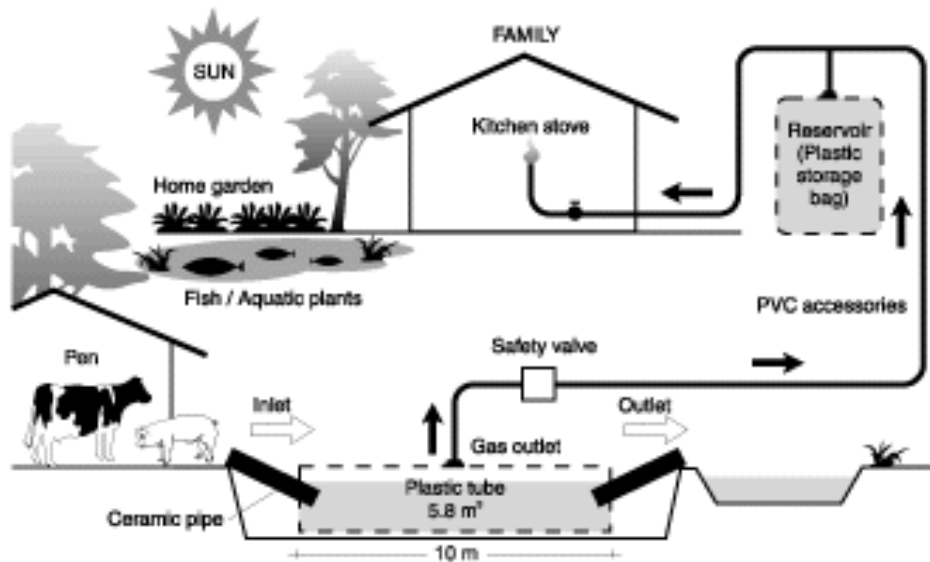


Figura 4.3: Biodigestor de Plástico de Bajo Costo.⁶⁹

Ventajas de los biodigestores de plástico económicos:

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

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

- Una reducción del trabajo físico, sobre todo de las mujeres

⁶⁹ Biodigestores una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. Fundación Hábitat 2 de Abril de 2005 Quimbaya, Quindío, página 19

- Una reducción de la presión en los recursos naturales como combustible y carbón de leña
- Producción de energía barata
- Mejora el sistema de cultivo reciclando estiércol a través del biodigestores, producción de gas para cocinar y fertilizante (una vez el estiércol ha atravesado un biodigestor se vuelve un fertilizante orgánico excelente.
- Reducción de la polución, sobre todo en áreas urbanas.

Entre las desventajas del biodigestor de plástico se halla su bajo tiempo de vida útil, lo que hace necesario montar una nueva instalación cada tres años. También es muy vulnerable a sufrir roturas por condiciones climáticas adversas, por las acciones del hombre y los animales

4.3.4.1 Costo de la Planta del Biodigestor

El costo del biodigestor de plástico es relativamente bajo y varía según el tamaño y situación. Por ejemplo, en Colombia el costo por m³ de volumen líquido está alrededor de \$US30 y tiene en cuenta que esto incluye el recipiente y su conexión, las cajas de cemento para las entradas y tomas de corriente, depósito de gas de plástico, estufa, la labor para preparar la trinchera y la instalación del biodigestor. En Viet Nam el costo medio por m³ es sólo \$US7 (materiales), dando un costo total para un biodigestor de 5.4 m³ de US\$37.80, incluyendo dos quemadores.

4.3.4.2 Aspectos Prácticos

Al escoger la ubicación conveniente para un biodigestor, es preferible un sitio cercano al lugar donde se encuentran las materias a transformar. La ubicación de la cocina normalmente no es un problema. Las paredes y el suelo deben ser firmes, cualquier material destacándose como piedras afiladas o raíces debe quitarse de las paredes y suelo. La trinchera debe situarse de manera que pueda desviar el agua lluvia. Deben clasificarse según tamaño las dimensiones de la trinchera para acomodar el tubo de plástico.

4.3.5 Digestor Flotante

Un rasgo innovador de usar polietileno tubular es que los biodigestores pueden localizarse para flotar en cualquier superficie de agua, con la mitad sumergida, su boca se localizada sobre el nivel de agua más alto, mientras la toma de corriente debe ajustarse a un objeto flotante, como un coco seco o un recipiente de plástico. En Viet Nam más de 5% de los biodigestores flotantes se ubican en estanques que facilitan su instalación, generalmente donde el espacio de las granjas es limitado.



Figura 4.4: Biodigestor Flotante.⁷⁰

4.3.5.1. Funcionamiento del Digestor

Es posible usar cualquier tipo de excreta, pero la producción de gas es más alta con estiércol de cerdo y mezclas de excrementos de pollos y ganado. La cantidad requerida depende de la longitud del digestor, pero generalmente es aproximadamente 5 kg de estiércol fresco (1 kg la materia sólida) para cada 1 m. A esto deben agregarse 15 litros de agua para que el volumen de los sólidos represente 5 por ciento aproximadamente. No es aconsejable usar menos agua, esto puede llevar a la formación de escoria sólida en la superficie del material.

Cuatro a cinco cerdos (peso vivo supuesto de 70 kg) proporcionará bastante estiércol para producir el gas requerido para una familia de cuatro a cinco

⁷⁰ Biodigestores. Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. Fundación Hábitat 2 de Abril de 2005 Quimbaya, Quindío, página 19

personas. Se ha experimentado este biodigestor con excrementos humanos siendo una manera eficaz de reducir transmisión de enfermedades y dar otro uso a las letrinas.

4.3.5.2. Mantenimiento

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

4.3.6 Digestor con Tanque De Almacenamiento Tradicional y Cúpula de Polietileno

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



Figura 4.5: Digestor Con Tanque de Almacenamiento Tradicional y Cúpula de Polietileno.⁷¹

⁷¹ Biodigestores una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. Fundación Hábitat 2 de Abril de 2005 Quimbaya, Quindío, página 19

4.3.7 Digestores de Alta Velocidad o Flujo Inducido

Estos son los utilizados comúnmente en instalaciones industriales o semiindustriales. Generalmente trabajan a presión constante, por lo que se podrían catalogar como Digestores Tipo Hindú Modificado.

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

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

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

Buscando un tipo de digester ideal, se llegó al concepto de digester de Segunda y Tercera generación, siendo los clásicos modelos Hindú o Chino, los de la primera. Este nuevo modelo de digester retiene la materia de origen vegetal, que normalmente tiende a flotar, dentro de las zonas de máxima actividad bacteriana como son la inferior y la de sobrenadante intermedia, para que las bacterias tengan tiempo de atacar, hidrolizar y procesar efectivamente el material en descomposición; al mismo tiempo permite que los gases y el material parcialmente degradado sigan el recorrido del proceso normal dentro del digester.

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

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

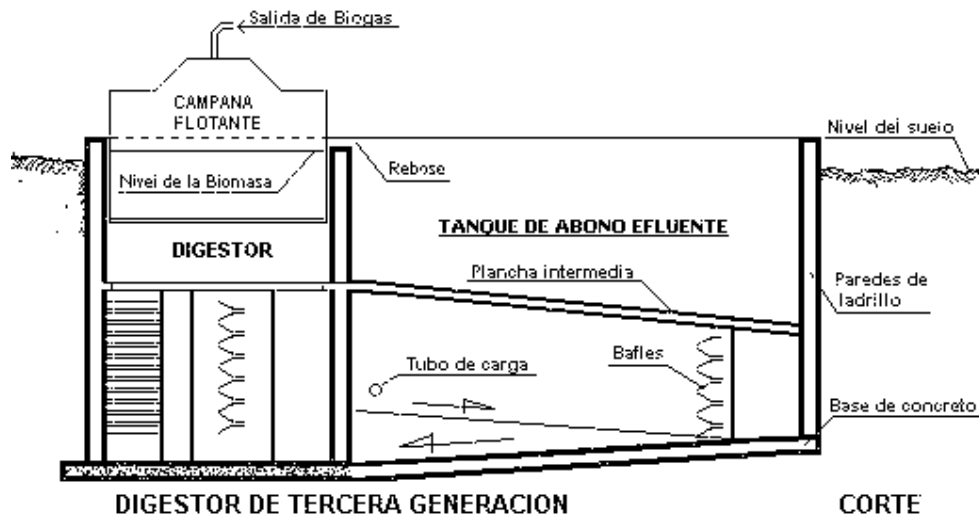


Figura 4.6: Digestores de Tercera Generación⁷²

4.3.7.1 Ventajas de los Digestores de Alta Velocidad o Flujo Inducido

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

⁷² Biodigestores. Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. Fundación Hábitat 2 de Abril de 2005 Quimbaya, Quindío, página 19

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

4.3.7.2 Precauciones a Tener en Cuenta con los Digestores de Alta Velocidad o Flujo Inducido

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

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

4.3.8 Instalaciones Industriales

Las instalaciones industriales de producción de biogás emplean tanques de metal que sirven para almacenar la materia orgánica y el biogás por separado.

Este tipo de planta, debido al gran volumen de materia orgánica que necesita para garantizar la producción de biogás y la cantidad de biofertilizante que se obtiene, se diseña con grandes estanques de recolección y almacenamiento construidos de ladrillo u hormigón.

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

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

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



Figura 4.7: Biodigestores Industriales. Planta de biogás
Senftenberg - Alemania ⁷³

4.4. SELECCIÓN DEL TIPO DE BIODIGESTOR A DISEÑAR Y CONSTRUIR

Para la selección del biodigestor a diseñar y construir nos hemos basado en una matriz de decisión tomando en cuenta los diferentes criterios como son los factores humanos, biológicos, físicos y de construcción como se muestra en el Anexo 6 y Anexo 7 y 8

Como podemos observar en el Anexo 8 el biodigestor a construir para nuestro criterio y la disponibilidad del espacio y los recursos económicos es el de Domo Flotante.

Esta matriz fue realizada antes de escoger el tema del proyecto de grado

⁷³ ROMERO, Moncayo Gabriel, Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás, 2008, volumen 1, página 49

4.5. VENTAJA DE LOS BIODIGESTORES

- Producen biogás, que puede ser usado como combustible para, por ejemplo, cocinar alimentos sin que adquieran un olor o sabor extraño. Al utilizar esta fuente de energía se evita el uso de leña, contribuyendo a la disminución de la deforestación
- Humaniza el trabajo de los campesinos, que antes debían buscar la leña en lugares cada vez más lejanos.
- Diversidad de usos (alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor y otros).
- Produce biofertilizante rico en nitrógeno, fósforo y potasio, capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más caros y dañan el medio ambiente.
- Elimina los desechos orgánicos, por ejemplo, la excreta animal, contaminante del medio ambiente y fuente de enfermedades para el hombre y los animales.
- Mejoran la capacidad fertilizante del estiércol. El lodo producido en el proceso genera un efluente rico en nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio o magnesio, que son aprovechados directamente por las plantas. De esta manera, se permite el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias y disminuye su carga contaminante
- La utilización de los biodigestores además de permitir la producción de biogás ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos:

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

4.6. DIFICULTADES TÉCNICAS DE LOS BIODIGESTORES

La construcción de biodigestores conlleva una serie de dificultades técnicas:

- El digestor debe encontrarse cercano a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo.
- Debe mantenerse una temperatura constante y cercana a los 35°C. Esto puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos.

- Es posible que, como subproducto, se obtenga SH_2 , el cual es tóxico y corrosivo, dependiendo del sustrato de partida y de la presencia o no de bacterias sulfatorreductoras. La presencia de SH_2 hace que se genere menos CH_4 , disminuyendo la capacidad calorífica del biogás y encarece el proceso por la necesidad de depurarlo.
- Necesita acumular los desechos orgánicos cerca del biodigestor.
- Riesgo de explosión, en caso de no cumplirse las normas de seguridad para gases combustibles