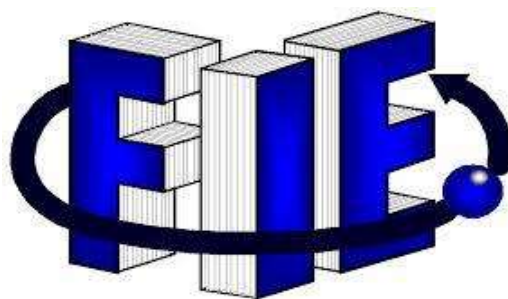




**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA**



TESIS

**ESTUDIO DE UN BIODIGESTOR PROTOTIPO PARA
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRICISTA**

**PRESENTA:
FERNANDO NAHUM PADILLA REYES**

**ASESOR:
ING. ELECTRICISTA VÍCTOR QUINTERO ROJAS**

Morelia, Michoacán noviembre del 2013

Agradecimientos

A DIOS: Por darme la oportunidad de vivir, y disfrutar esta etapa de mi vida.

A MIS PADRES: Leonardo Padilla Pérez y Silvia Reyes Olivares, por apoyarme en todo momento y en cualquier situación. No sé cómo agradecerles, porque son un pilar importante en mi vida, este logro es también de ustedes.

A MI HERMANO: Leo Padilla Reyes, por preocuparse por mí y siempre tener un buen consejo.

A MI ASESOR: Ing. Víctor Quintero Rojas, por tener la paciencia, el tiempo y la disposición de trabajar en este proyecto y sobre todo por la comprensión que me ha tenido.

A MIS AMIGOS: Ing. Carlos Yael Hernández Tapia por su apoyo y ayuda con mi tesis muchas gracias y a los demás amigos por estar ahí cuando más los necesitaba, en todo momento.

A MIS PRIMOS: Ing. Eloy Padilla Medina y Gabriel Padilla Medina Por el apoyo de familia que he necesitado.

A MIS MAESTROS: Por su ejemplo, su guía, por dejar que nos subamos a sus hombros para poder tener una mejor visión del mundo y la vida.

Dedicatorias

A quienes vienen detrás de mí, compañeros estudiantes, que no se den por vencidos que los exámenes reprobados no los derrumben. Que puedan alcanzar sus metas, cualesquiera que estas sean.

Todos mis colegas estudiantes, para que sigan adelante y sobre todo que les guste lo que están estudiando, como lo es, la Ing. Eléctrica.

Porque al elegir este camino sabe que se privarán de muchas cosas y sacrificarán otras, pero la recompensa de ejercer lo que su gusto les indica, será mayor.

Profesores, que han sabido guiarnos con responsabilidad y ética, porque seguirán haciéndolo con las generaciones venideras.

Resumen

El Biodigestor es un contenedor de plástico en color negro, cerrado herméticamente e impermeable, dentro de éste, se deposita material orgánico que se fermentará, tales como excrementos de animales (ganado vacuno y porcino) y desechos vegetales, en determinada dilución de agua.

Al exponer el contenedor al sol, se acelera la producción de gas metano, debido a que el calor y el ambiente húmedo permiten que se produzca el fenómeno de Biodigestión, éste ocurre debido a que existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos presentes en el material fecal; que, al actuar sobre los desechos orgánicos de origen vegetal y animal, producen una mezcla de gases con alto contenido de metano (CH_4) llamada Biogás, sumamente eficiente si se emplea como combustible.

Como resultado de este proceso se generan residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica (ideales como fertilizantes) que pueden ser utilizados de forma inmediata, pues el tratamiento anaerobio elimina los malos olores y la proliferación de moscas. Se deben controlar ciertas condiciones de presión y temperatura a fin de que se pueda obtener un óptimo rendimiento.

El Biodigestor es un sistema sencillo de implementar con materiales económicos y se está introduciendo en comunidades rurales aisladas de países subdesarrollados para obtener el doble beneficio de conseguir solventar la problemática energética-ambiental, así como realizar un adecuado manejo de los residuos tanto humanos como animales. El biogás puede ser empleado como combustible en cocinas, hornos, estufas, secadores, caldera u otros sistemas de combustión a gas debidamente adaptados. También es usado para iluminación y en grandes instalaciones se puede utilizar para alimentar un generador eléctrico.

El fertilizante, llamado Biol, inicialmente se ha considerado un producto secundario, pero actualmente se está considerando de la misma importancia, o mayor, que el Biogás ya que provee a las familias campesinas de un fertilizante natural que mejora fuertemente el rendimiento de las cosechas. Son de bajo costo, han sido desarrollados y están implementados en países del sureste asiático, Cuba, Colombia, Brasil y Costa Rica.

CONTENIDO

página

Agradecimientos	ii
Dedicatoria.....	iii
Resumen	iv
Contenido	v
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras	vii
Lista de símbolos y abreviaciones	viii

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN..... 1

1.1. Biomasa	1
1.2. Tipos de Biomasa	2
1.3. Conversión de Biomasa en energía	4
1.3.1 Procesos de conversión	4
1.3.2. Formas de energía.....	4
1.4. Antecedentes	6
1.5. Objetivos.....	6
1.6. Justificación.....	7
1.7. Metodología	7
1.8. Contenido de la tesis	8

CAPÍTULO 2. TIPOS DE BIODIGESTORES 9

2.1. Antecedentes del Biodigestor	9
2.2. Partes de un Biodigestor.....	11
2.3. Operación un Biodigestor.....	13
2.4. Clasificación de los Biodigestores.....	14
2.4.1. Discontinuos o tipo batch.....	14
2.4.2. Biodigestores semi-continuos.....	16
2.4.3. Sistemas continuos.....	18

CAPÍTULO 3. PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS..... 19

3.1. Principios de la fermentación anaeróbica	19
3.1.1. Metanogénesis	19
3.1.2. Prerrequisitos necesarios para iniciar el proceso fermentación ..	20
3.2. Tipo de materia prima	20

3.3. Parámetros necesarios para la producción de Biogás.....	22
3.4. Agitación-mezclado	25
3.5. Diferentes aplicaciones.....	26
3.5.1. Principios de la combustión.....	28
3.6. Producción de fertilizantes	28
3.6.1. Con fin conservacionista	29
 CAPÍTULO 4. CONSTRUCCIÓN FÍSICA DEL BIODIGESTOR.....	30
4.1. Biodigestor con agitación	30
4.2. Objetivo de la agitación.....	31
4.3. Equipo para agitación.....	31
4.4. Construcción del agitador.....	32
4.5. Partes físicas del Biodigestor.....	34
4.6. Puesta en marcha del Biodigestor	38
4.7. Uso del Biodigestor para la generación de energía eléctrica	42
4.7.1 Equipamiento para generación de electricidad	42
4.8. Esquema típico generalizado en la producción con Biogás.....	44
 CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....	46
Fuentes de información	47

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Estados típicos de la Biomasa	3
Tabla 3.1. Porcentaje de metano de algunos animales	21
Tabla 3.2. Tiempo de retención de la Biomasa	23
Tabla 3.3. Aplicaciones y su consumo	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ciclo del carbono	1
Figura 1.2. Tipos de Biomasa.....	2
Figura 1.3. Estiércol de res.....	3
Figura 1.4. Procesos de conversión y formas de energía	4
Figura 2.1. Partes de un Biodigestor	11
Figura 2.2. Biodigestor tipo batch.....	15
Figura 2.3. Biodigestor tipo batch.....	15
Figura 2.4. Biodigestor tipo chino	24
Figura 2.5. Biodigestor tipo hindú	25
Figura 2.6. Distribución de fuentes potenciales para la producción de Biogás provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales en México	18
Figura 3.1. Esquema de la aplicación del Biogás	27
Figura 4.1. Imagen del Biodigestor dotado con agitador	30
Figura 4.2. Imagen del agitador con sus respectivas aspas	32
Figura 4.3. Manivela del agitador.....	33
Figura 4.4. Tanque hermético.....	34
Figura 4.5. Conector 3/8 para gas	35
Figura 4.6. Componentes de tubería	35
Figura 4.7. Válvula de esfera de ½	36
Figura 4.8. Presentación de las piezas	36
Figura 4.9. Bolsas de lona	37
Figura 4.10. Adaptación de la tubería a la bolsa	37
Figura 4.11. Obtención de la Biomasa	38
Figura 4.12. Llenado de los tanques.....	39
Figura 4.13. Biodigestor cargado con Biomasa	39
Figura 4.14. Presentación puesta en marcha para producir Biogás	40
Figura 4.15. Presentación de los Biodigestores.....	40
Figura 4.16. Presentación de bolsas con Biogás	41
Figura 4.17. Otra perspectiva de imagen de las bolsas con Biogás.....	41
Figura 4.18. Generador con motor diesel adaptado	42
Figura 4.19. Generador con motor para Biogás	42

Figura 4.20. Diagrama de combustión de gas-diesel.....	43
Figura 4.21. Proceso de generación de energía.....	44

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIACIONES

Hp=caballos de potencia

Kg= kilogramos

⁰C=centígrados

L=litros

L/h=litros por hora

M²=metros cuadrados

M³=metros cúbicos

W=watts

Hph=caballos de potencia por hora

Kw=kilowatts

Kw/h=kilowatts por hora

Min=minutos

Cm=centímetros

Cm/seg=centímetros sobre segundos

mbar=presión de vapor

Rpm=revoluciones por minuto

M³/h=metro cubico sobre hora

M/kwh= metro sobre kilowatt por hora

M³/kwh=metro cubico sobre kilowatt por hora

Capítulo 1. Introducción

En los últimos años el panorama energético ha variado notablemente, el costo elevado de los combustibles fósiles y los avances técnicos que han posibilitado la aparición de sistemas de aprovechamiento energético de la Biomasa cada vez más eficiente, causando que esta fuente de energía renovable comience a ser considerada por las industrias y otros sectores del campo como una alternativa parcial o total a los combustibles fósiles.

Para la mayoría de la población, las formas más familiares de energía renovable son las que provienen del sol y del viento. Sin embargo existen otras fuentes de biomasa, como leña, carbón de leño, que proveen un alto porcentaje de la energía consumida en el mundo y tienen potencial para suplir mayores volúmenes.

1.1 Biomasa

La Biomasa define toda sustancia orgánica renovable de origen tanto animal como vegetal. La energía de la Biomasa proviene de la energía que almacenan los seres vivos ver Figura 1.1. En primer lugar, los vegetales al realizar la fotosíntesis, utilizan la energía del sol para formar sustancias orgánicas. Después los animales incorporan y transforman esa energía al alimentarse de las plantas. Los productos de dicha transformación, que se consideran residuos, pueden ser utilizados como recurso energético [1].

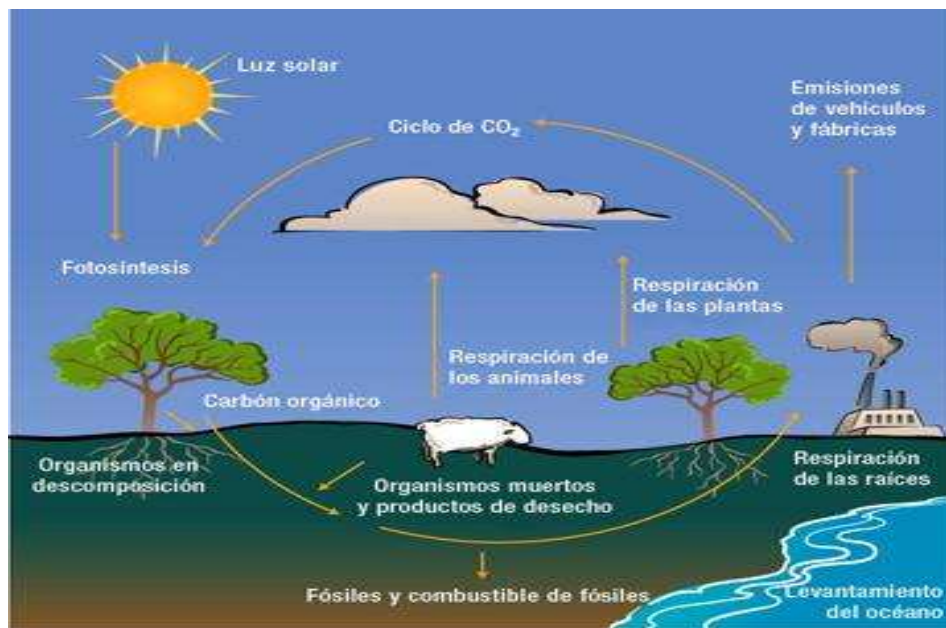


Figura 1.1 Ciclo del Carbono.

Desde principios de la historia de la humanidad, la Biomasa ha sido una fuente energética esencial para el hombre. Con la llegada de los combustibles fósiles, este recurso energético perdió importancia en el mundo industrial. En la actualidad los principales usos que tiene son domésticos.

1.2 Tipos de Biomasa

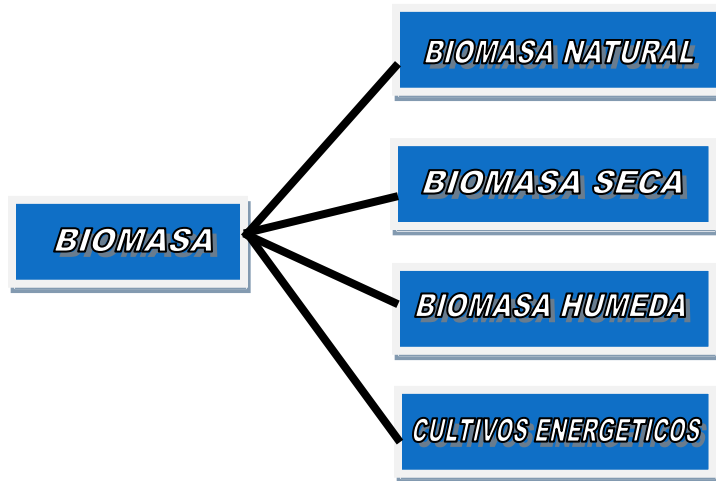


Figura 1.2 Tipos de Biomasa.

Como se observa en la Figura 1.2 los tipos de Biomasa más estudiados son:

- a) **Biomasa natural.** Se produce de forma espontánea en la naturaleza, sin intervención humana. Por ejemplo, las podas naturales de los bosques.
- b) **Biomasa seca.** Procede de recursos generados en las actividades agrícolas, forestales. También se produce este tipo de Biomasa en procesos de la industria agroalimentaria y de la industria de transformación de la madera. Dentro de este tipo de Biomasa, se puede diferenciar la de origen forestal y la de origen agrícola.
- c) **Biomasa húmeda.** Procede de vertidos Biodegradables formados por aguas residuales urbanas e industriales y también de los residuos ganaderos.
- d) **Cultivos energéticos tanto forestales como agrícolas.** Son aquellos cultivos realizados tanto en terrenos agrícolas como forestales y que están dedicados a la producción de Biomasa con fines no alimentarios.



Figura 1.3 Estiércol de Res (Biomasa).

En la Figura 1.3 se observa la Biomasa de estiércol a utilizar en este proyecto.

Recursos de biomasa	Tipo de residuo	Características físicas
Residuos forestales	Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas. Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas. Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces.	Polvo, sólido, HR >50 % Polvo, sólido, HR 30-45% Sólido, HR >55%
Residuos agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales. Cáscara y polvo de granos secos (arroz, café). Estiércol. Residuos de cosechas: tallos y hojas, cáscaras, maleza, pastura.	Sólido, alto contenido humedad. Polvo, HR <25% Sólido, alto contenido humedad. Sólido HR >55%
Residuos industriales	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales. Residuos de procesamiento de carnes. Aguas de lavado y precocido de carnes y vegetales. Grasas y aceites vegetales.	Sólido, humedad moderada Sólido, alto contenido humedad Líquido Líquido, grasoso
Residuos urbanos	Aguas negras. Desechos domésticos orgánicos (cáscara de vegetales). Basura orgánica (madera).	Líquido Sólido, alto contenido humedad. Sólido alto contenido humedad.

Tabla 1.1 Estados Típicos de la Biomasa.

En la Tabla 1.1 se mencionan las diferentes clasificaciones de la Biomasa con sus características residuales.

1.3 Conversión de Biomasa en Energía

Para que la biomasa sea usada con fines energéticos, primero debe de ser convertida en una forma más práctica para su transportación y utilización. Algunos ejemplos de la forma final de la energía de biomasa son el carbón vegetal, gas natural, etanol y electricidad.

1.3.1. Procesos de Conversión

Antes de que la Biomasa pueda ser usada para fines energéticos, tiene que ser convertida en una forma más conveniente para su transporte y utilización. A menudo, la Biomasa es convertida en formas derivadas tales como carbón vegetal, briquetas, gas, etanol y electricidad [2].

Las tecnologías de conversión incluyen desde procesos simples y tradicionales, como la producción de carbón vegetal en hogueras bajo tierra; hasta procesos de alta eficiencia como la dentro-energía y la cogeneración.

1.3.2 Formas de Energía

Aplicando los diferentes procesos de conversión, la Biomasa se puede transformar en diferentes formas de energía. En la Figura 1.4 se puede observar el diagrama de flujo para la obtención de energía por diferentes métodos.

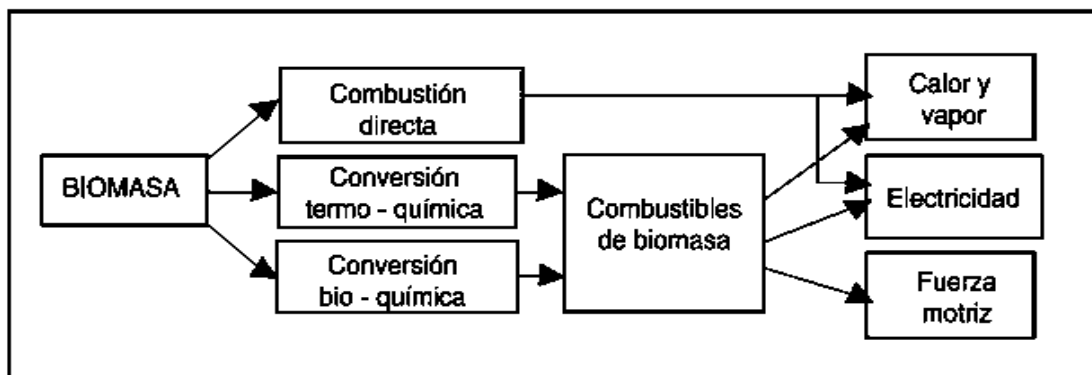


Figura 1.4 Procesos de Conversión y Formas de Energía.

•**Calor y vapor:** es posible generar calor y vapor mediante la combustión de Biomasa o Biogás. El calor puede ser el producto principal para aplicaciones en calefacción y cocción, o puede ser un subproducto de la generación de electricidad en ciclos combinados de electricidad y vapor.

•**Combustible gaseoso:** el Biogás producido en procesos de digestión anaeróbica o gasificación puede ser usado en motores de combustión interna para generación eléctrica, para calefacción y acondicionamiento en el sector doméstico, comercial e institucional y en vehículos modificados.

•**Biocombustibles:** la producción de Biocombustibles como el etanol y el Biodiesel tiene el potencial para reemplazar cantidades significativas de combustibles fósiles en muchas aplicaciones de transporte. El uso extensivo de etanol en Brasil ha demostrado, durante más de 20 años, que los Biocombustibles son técnicamente factibles a gran escala. En los Estados Unidos y Europa la producción está incrementándose y se están comercializando mezclados con derivados del petróleo.

Por ejemplo, el combustible E20, constituido 20% de etanol y 80% de gasolina, resulta aplicable en la mayoría de motores de ignición.

Actualmente, este tipo de combustible es subsidiado por los gobiernos, pero en el futuro, con el incremento en los cultivos energéticos y las economías de escala, la reducción de costos puede hacer competitiva su producción.

•**Electricidad:** la electricidad generada a partir de los recursos Biomásicos puede ser comercializada como “energía verde”, pues no contribuye al efecto invernadero por estar libre de emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Este tipo de energía puede ofrecer nuevas opciones al mercado, ya que su estructura de costos permitirá a los usuarios soportar mayores niveles de inversión en tecnologías eficientes, lo cual incrementará la industria Bioenergética.

•**Co-generación (calor y electricidad):** la co-generación se refiere a la producción simultánea de vapor y electricidad, la cual se aplicaría en muchos procesos industriales que requieren las dos formas de energía. En América Central este proceso es muy común en los ingenios de azúcar, los cuales aprovechan los desechos del proceso, principalmente el bagazo. Por la alta cantidad de bagazo disponible, tradicionalmente, la co-generación se realiza en una forma bastante ineficiente.

1.4 Antecedentes

El descubrimiento del Biogás, data de principios del año 1800, por el Investigador Humpry Dhabí, quien produce gas metano en su laboratorio. En la India desde principios del siglo pasado se utiliza para generar climas fríos y calientes a partir de este gas. En China por su parte su uso ha sido a gran escala, ahí en el medio rural se utilizan millones de Biodigestores para el uso casero. En México se ha visto un atraso en el uso de este tipo de energía alternativa, se tienen antecedentes de que en Tisayuca, Hidalgo; se realizó un proyecto. Este es un proyecto muy ambicioso que pretende generar gas para beneficio de diversas industrias, con lo que esperan reducir considerablemente el gasto común que se destina para el pago de servicios relacionados con la energía. Desde entonces y hasta la fecha las búsquedas para la generación del Biogás no han parado, por el contrario se cuenta con éste como una manera más de crear energía alternativa. Habrá que tener en cuenta que a finales del siglo pasado, se promulga el llamado “Protocolo de Kioto” que propone entre sus líneas la reducción de emisión de gas contaminante que es causante también del calentamiento global, uno de los gases que se proponen en este protocolo es el gas metano.

1.5 Objetivos

Objetivo general

Analizar, el principio del funcionamiento del Biodigestor, así como la construcción de dos Biodigestores prototipo. Lo anterior para determinar la eficiencia de los mismos, con el fin de proponer su construcción en zonas rurales o en comunidades con difícil acceso a la energía eléctrica.

Objetivo particular

Construcción del modelo físico de dos Biodigestores uno con un agitador para acelerar la producción de Biogás, y el otro Biodigestor sin agitador, así como la realización de un estudio para la obtención de energía eléctrica.

1.6 Justificación

Con los cambios climáticos que se están presentando y con la sobre explotación de los recursos naturales, es cada vez más difícil la obtención de la energía eléctrica, es por esto que se necesita desarrollar otros medios para generar energía, y pensando en una fuente sustentable se optó por la investigación y desarrollo de un Biodigestor.

Para remediar los daños ocasionados en el medio ambiente y proveer de energía eléctrica a la comunidad de manera limpia.

1.7 Metodología

Para el desarrollo de los Biodigestores se construyeron 2 prototipos del tipo batch, para lo cual fue necesaria la adquisición de tanques herméticos de plástico con una capacidad de 60 litros, para el alojamiento de la materia a procesar. Ya que la estructura del prototipo batch cuenta con una tubería para la salida de gas, se requirió soldar tubo de cobre para la conducción del Biogás.

Para el almacenamiento del Biogas producido, fue necesaria la fabricación de dos bolsas de lona con una adaptación de tubería de cobre.

Uno de los Biodigestores contará con un agitador para mover la Biomasa, por lo cual se requiere el diseño de este agitador, para ello se fabricó este agitador metálico para después adaptarlo.

Se debe de contar el estiércol a la mano ya que se mezclara en el tanque y se homogenizaron, en cada tanque.

Una vez que ya esta la mezcla se cerraran los tanques y tendremos que revisar a los 14 días aproximadamente para ver los resultados.

1.8 Contenido de la Tesis

En el capítulo 1, se define Biomasa, tipos de Biomasa que existen. En este capítulo también se menciona el objetivo de este proyecto, justificación y metodología para la elaboración de la tesis.

En el capítulo 2, se muestra un Biodigestor tradicional y los otros tipos de Biodigestores que existen.

En el capítulo 3, se aborda lo referente el gas generado por el Biodigestor, así como sus aplicaciones caseras.

En el capítulo 4, implementación del Biodigestor, así como la aplicación del mismo para la generación de energía eléctrica.

En el capítulo 5, se muestran las Conclusiones y resultados obtenidos al realizar el proyecto.

Capítulo 2. Tipos de Biodigestores

Los diferentes sistemas de Biodigestión anaeróbica, se clasifican en función del tipo de materia, el tiempo en que la degradan y el proceso de carga de la materia. Cada sistema posee características de funcionamiento distintas y su diseño, en la búsqueda de una mayor eficiencia, ha evolucionado con el tiempo.

Existen muchos procesos para tratar los diversos residuos orgánicos, los cuales dependen de las condiciones de diseño del sistema, como el de los propios Biodigestores y del modo de presentación de la Biomasa a ser fermentados. Hay muchos tipos de Biodigestores pero los más comunes son: el hindú, chino y batch.

2.1 Antecedentes del Biodigestor

Se sabe que el hombre conoce desde tiempos muy antiguos la existencia del Biogás, pues éste se produce en forma natural en los pantanos, de allí que se lo llama gas de los pantanos [3].

En 1808 Humpry Dhabi produce gas metano en un laboratorio. Se toma este acontecimiento como el inicio de la investigación en Biogás.

Louis Pasteur (1884), al presentar los trabajos de su discípulo, Gayón concluyó que la fermentación de estiércoles podría ser una fuente de energía para la calefacción e iluminación [4], en Inglaterra en el año 1896, Donald Camerón, perfeccionó el tanque séptico y utilizó el gas que se origina en el proceso como fuente de energía.

Para el año de 1900 es puesto en funcionamiento el primer Biodigestor en Bombai – La India, Charles James utilizó el gas producido en el proceso para el funcionamiento de un motor.

En Alemania a partir de 1923 se empezó a utilizar el Biogás mediante una red pública para satisfacer las demandas de energía. Para el año de 1939 la India inauguró una unidad experimental para el estudio y diseño de sistemas de equipos que requieren la utilización de Biogás, es en este país y en especial en China, donde esta tecnología se ha difundido en forma masiva en el sector campesino, existen más de 7.5 millones de Biodigestores construidos y operando [5].

Desde esos días hasta la actualidad, mucho se ha avanzado sobre el tema y actualmente se cuenta con instalaciones que van desde la pequeña escala doméstica, hasta las aplicaciones agroindustriales. China es el país que ha llevado a la práctica el uso del Biogás en mayor escala.

Estos proveen gas para cubrir necesidades de cocción e iluminación, a la vez que van recuperando suelos degradados a través de siglos de cultivos.

La India experimenta desde 1939 con diversos sistemas para aplicar en climas fríos o cálidos. En Europa y Estados Unidos se investigan los complejos fenómenos químicos que ocurren durante el proceso de digestión.

En la Segunda Guerra Mundial, la crisis de combustibles hizo que las investigaciones en esta área aumentaran, forzando el desarrollo a pequeña y gran escala.

Años más tarde, debido a los aspectos negativos de esta tecnología por depender principalmente de temperaturas superiores a los 30°C, y por comodidad y conveniencia de otros tipos de combustibles, esta tecnología pasó al olvido.

En China, India y Sudáfrica, debido a la escasez de recursos económicos estos métodos fueron difundiéndose y desarrollándose de tal manera que hoy en la actualidad estos países cuentan con más de 30 millones de Biodigestores funcionando, además desarrollaron técnicas de generación gaseosa a pequeña y gran escala.

El Biogás se produce en un Biodigestor aprovechando el estiércol de algunos animales como: vacas, cerdos, cabras, conejos, caballos, etc. con lo cual se evita la contaminación ambiental.

2.2 Partes de un Biodigestor

Generalmente los Biodigestores se construyen bajo el nivel del suelo para lograr un adecuado aislamiento térmico. Por un extremo está conectado con la piletta de carga, mediante uno o dos tubos, y por el otro con la piletta de descarga, mediante otro u otros dos tubos. En la tapadera superior tiene conectada una pequeña tubería de metal para la evacuación del gas producido, hacia el tanque de almacenamiento.

En la Figura 2.1, podemos ver las partes de un Biodigestor convencional.

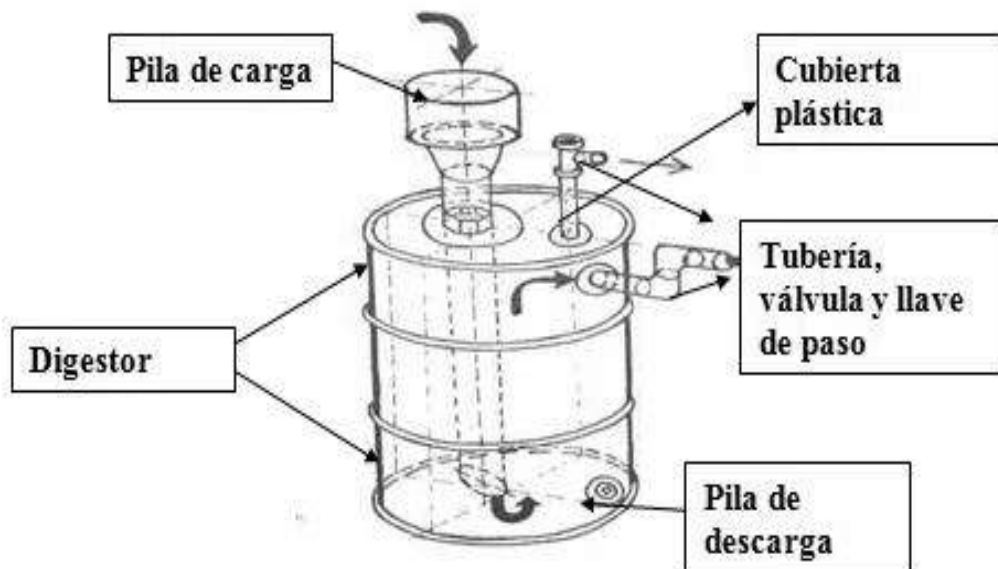


Figura 2.1 Partes de un Biodigestor.

Pila de carga: En la piletta de carga se deposita y homogeniza la mezcla, añadiéndole agua, con lo que se alimenta el digestor. Esta piletta es pequeña y de poca profundidad, y generalmente de forma rectangular, la mezcla pasa por un tubo o dos.

Digestor: Es un tanque cerrado herméticamente, de cualquier forma y tamaño, definido por el diseño del Biodigestor en función de las preferencias del usuario y de las facilidades que se tengan en su construcción. Generalmente los Biodigestores se construyen bajo el nivel del suelo para lograr un adecuado aislamiento térmico, aunque también es común encontrarlos en la intemperie. Dentro de él los desechos son descompuestos. Por un extremo se conecta el tubo de pila de carga y por otro a la pila de descarga.

Pila de descarga: Sirve para retirar los residuos provenientes del tanque que fueron digeridos. Está colocada a menor nivel que la pila de carga.

Cubierta plástica: Se coloca sobre el tanque digestor, cierra la entrada de aire al interior del mismo y almacena el gas producido.

Tubería, válvula y llave de paso: Se conecta una tubería en la parte superior de la cubierta plástica que conduce el gas a donde será aprovechado; además, se conecta una sencilla válvula de seguridad que evita la sobre presión interna en la cubierta plástica y elimina el agua condensada en la tubería. También es importante una llave que permita el paso del gas cuando se necesita [6].

2.3 Operación de un Biodigestor

El proceso que se lleva a cabo dentro del Biodigestor, se llama fermentación anaeróbica y consiste en la descomposición de los desechos orgánicos (estiércol de ganado principalmente, y desechos vegetales), por medio de bacterias que trabajan en ausencia de oxígeno. Al final se produce un gas rico en metano, que es combustible. Con un buen poder calórico. Además, un residuo (efluente), que sirve como abono.

La operación del Biodigestor, inicia con la primera carga de estiércol, es conveniente usar cantidades iguales de estiércol y agua, que se mezclan agitándolas y luego se introducen dentro del digestor, donde se da el proceso de descomposición de los desechos. Se recomienda iniciar el proceso con estiércol fresco de ganado porcino; dicha mezcla debe permanecer varios días hasta que se produzca gas en cantidad aprovechable. Luego se alimenta el Biodigestor todos los días para tener una producción constante de gas. La misma cantidad de carga, debe retirarse por la pileta de descarga para evitar derrames, aproveche este material se puede utilizar como Bioabono.

Algunos cuidados al operador el Biodigestor:

- 1) Es conveniente mantener la temperatura constante la mayor parte del tiempo, por ello es ideal construir el digestor en el suelo, por su capacidad de aislamiento (a mayor temperatura mayor producción de gas).
- 2) Se debe evitar la entrada de aire, ya que penetran otros microorganismos que detienen el proceso de fermentación.
- 3) Para que las bacterias trabajen eficientemente se debe alimentarlas adecuadamente, esto es, darles 30 veces más de carbono que nitrógeno. La cerdaza proporciona una excelente relación y produce alto rendimiento de Biogás y Biofertilizante.
- 4) Para evitar disminución en la eficiencia, no agregar más de un 25% de desechos vegetales.
- 5) El exceso de acidez mata las bacterias, por lo tanto es recomendable evitar las pulpas de naranja o limones.

6) Es recomendable no utilizar estiércol y orina de animales tratados con antibióticos o sulfas, tampoco residuos de fungicidas o insecticidas. Cuando esto ocurre, el Biodigestor se “indigesta” y detiene su funcionamiento.

El periodo de retención son los días que una carga permanece dentro del Biodigestor, desde su entrada hasta su salida. A 25 °C puede durar de 30 a 40 días.

2.4 Clasificación de los Biodigestores

Los Biodigestores se pueden definir de dos maneras. Según el diseño de construcción, y por otro lado dependiendo del tipo de proceso empleado.

Los materiales usados en la construcción, dependen del lugar donde se quiera instalar, (Y) generalmente pueden ser de: plástico, PVC, concreto, etc. A continuación se presenta la clasificación de acuerdo a la manera en que operan dichos Biodigestores [7].

2.4.1 Discontinuos o tipo Batch

Consiste en tanques herméticos con una salida de gas, dotado de un indicador de presión (gasómetro) donde se almacena el Biogás. Este sistema es aplicable cuando la materia a procesar está disponible en forma inmediata.

Este tipo de Biodigestor se carga una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible. Un sistema de este tipo se observa en la Figura 2.2.

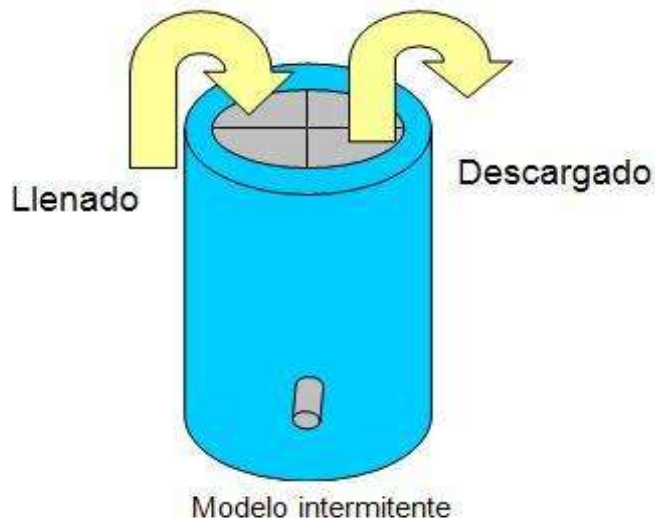


Figura 2.2. Biodigestor tipo Batch.

Son fáciles de construir e ideales en un laboratorio para obtener parámetros presentes en el proceso, así como el comportamiento de algún residuo orgánico o mezcla presente en el Biodigestor. Los Biodigestores a construir son de este tipo. Las características principales de construcción se pueden observar en la Figura 2.3.

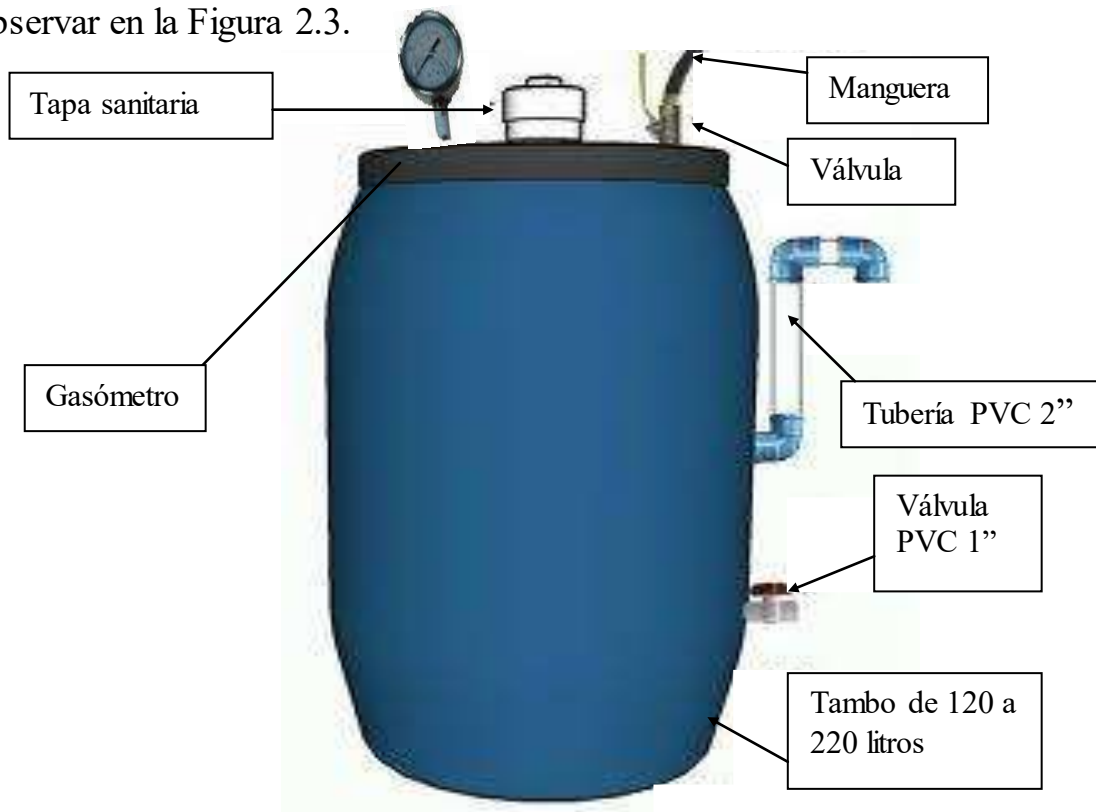


Figura 2.3. Biodigestor tipo Batch.

2.4.2 Biodigestores Semi-Continuos

Estos Biodigestores son alimentados diariamente con una carga relativamente pequeña en comparación al contenido total; Ésta se deposita en la cámara de carga, e igualmente se debe extraer de la cámara de descarga un volumen igual del efluente líquido para así mantener el volumen constante.

Generalmente producen Biogás casi permanentemente, gracias al suministro constante de nuevos nutrientes para las comunidades de bacterias.

Los Biodigestores semi-continuos se clasifican en dos tipos: el chino e hindú, los cuales se describen a continuación.

a) Modelo chino.

Se originó en China y consiste en una estructura cerrada con cámaras de carga y descarga que pueden ser construidas de concreto armado o ladrillos (dicho Biodigestor se puede apreciar en la Figura 2.5. Otra característica importante de este tipo de Biodigestores es que tienen una larga vida útil con un adecuado mantenimiento.

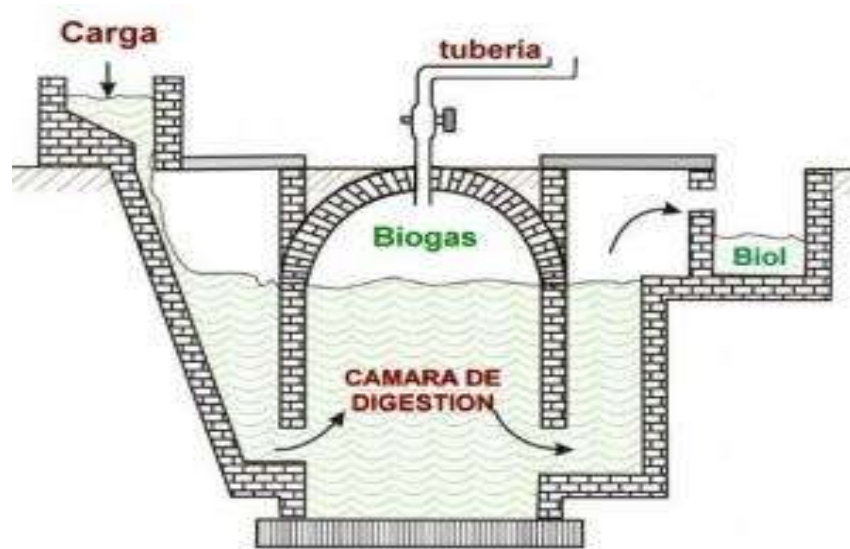


Figura 2.4 Biodigestor tipo chino.

Sin embargo, el alto costo que representa la construcción de este modelo hace que no se haya popularizado en países latinoamericanos tanto como otros diseños más económicos.

El Biodigestor almacena solo un pequeño volumen del gas generado en el interior, por lo que se requiere un contenedor diferente construido para tal fin.

b) Modelo hindú

También llamado de domo flotante, en su parte superior presenta una campana o domo que se mantiene flotando en el líquido a causa del Biogás que retiene en su interior como se observa en la Figura 2.6. 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 y por esto requiere una varilla guía central o rieles laterales que eviten el rozamiento contra las paredes de la estructura.

Tienen la ventaja de no necesitar un contenedor externo para almacenar el gas generado. Este se mantiene a una presión relativamente constante al interior del domo, lo que es muy ventajoso.

Una variación a este modelo lo constituyen los Biodigestores que presentan una película de polietileno flexible en la parte superior en sustitución del domo flotante. Haciéndolos más económicos y accesibles socialmente.

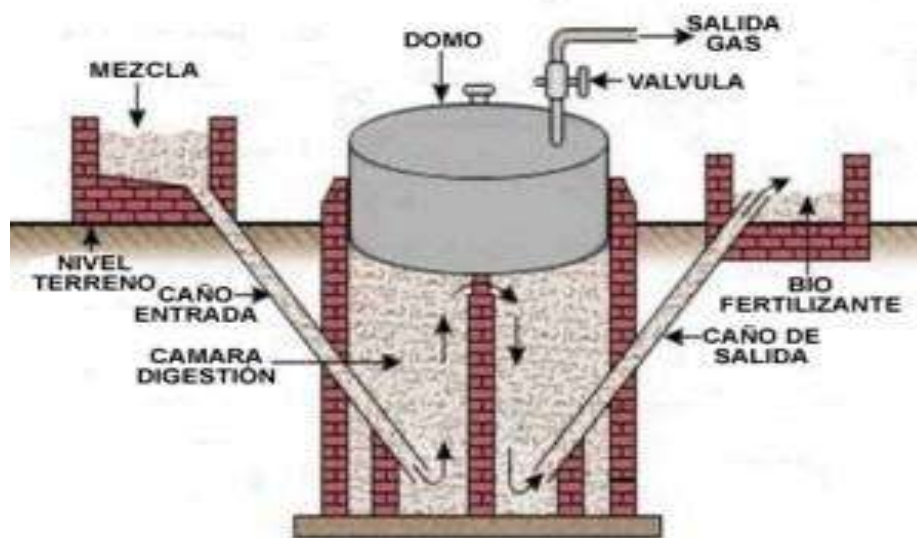


Figura 2.5 Biodigestor tipo hindú.

Estos dos tipos de Biodigestores (hindú y chino) se usan en zonas rurales, para uso doméstico.

2.4.3 Sistemas Continuos

Este tipo de digestores se desarrollan principalmente para tratamiento de aguas residuales. En general son plantas muy grandes, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionarles calefacción y agitación, así como para su control. Por lo tanto este tipo de plantas son más bien instalaciones tipo industriales, donde se genera una gran cantidad de Biogás el que a su vez se aprovecha en aplicaciones industriales. De acuerdo al inventario realizado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en México existen 2,816 plantas en operación formal de las plantas construidas destacan por su capacidad instalada, las de: Rincón y San Francisco de los romos en Aguascalientes, Tijuana (La morita), Baja California, Colima, Chiapas (Pijijiapan), Guerrero (Chilpancingo de los Bravo), Jalisco (Ameca), Morelos (Temixco), Nayarit (tepic), Querétaro (San Juan del Río y San Pedro Mártir), Tamaulipas (Ciudad Madero), Veracruz (Banderilla), Yucatán(Causel), Michoacán (Tacámbaro, Sorucio el Alto). En el mapa territorial se observan las ubicaciones de las plantas de tratamiento de aguas residuales [8].



Figura 2.6 Distribución de fuentes potenciales para la producción de Biogás provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales en México.

Capítulo 3. Producción del Biogás

La importancia del Biogás, radica en el hecho de que México se proyecta ya como un país con un déficit en la producción de Biogás, entonces una de las alternativas más viables es invertir en el Biogás que puede producirse en Biodigestores, rellenos sanitarios, etc. En donde se tiene una gran cantidad de desechos orgánicos básicos en la producción de metano y bióxido de carbono.

3.1 Principios de la fermentación anaeróbica

La generación de Biogás, es una mezcla constituida fundamentalmente por metano (CH_4) dióxido de carbono (CO_2), y pequeñas cantidades de hidrógeno (H), sulfuro de hidrógeno (SH_2) y nitrógeno (N) constituye un proceso vital dentro del ciclo de la materia orgánica en la naturaleza.

- Metano, CH_4 54 - 70% volumen
- Bióxido de carbono, CO_2 27 – 45%
- Hidrógeno, H_2 1 - 10%
- Nitrógeno, N_2 0.5 – 3%
- Ácido Sulfídrico, H_2S 0.1%

Las bacterias metano génicas en efecto constituyen el último eslabón de la cadena de microorganismos encargados de digerir la materia orgánica y devolver al medio los elementos básicos para reiniciar el ciclo. Existen otras 2 etapas antes de llegar a la producción de metano (Hidrólisis y acidogenesis). Se estima que anualmente la actividad microbiológica libera a la atmósfera entre 590 y 880 millones de toneladas de metano a nivel mundial [9].

3.1.1. Metanogénesis

Es la formación de metano por microbios y para darnos una idea general sobre el proceso microbiológico involucrado en la formación de metano es necesaria para poder comprender mejor el diseño y funcionamiento de los denominados reactores o digestores productores de Biogás [10].

3.1.2. Prerrequisitos necesarios para iniciar el proceso fermentación

La fermentación anaeróbica involucra a un complejo número de microorganismos de distinto tipo, los cuales pueden ser divididos en tres grandes grupos principales (hidrólisis, acidificación, metanogénica). La real producción de metano es la última parte del proceso y no ocurre si no han actuado los primeros dos grupos de microorganismos.

Las bacterias productoras del Biogás son estrictamente anaeróbicas y por lo tanto sólo podrán sobrevivir en ausencia total de oxígeno atmosférico.

Otra característica que las identifica es la sensibilidad a los cambios ambientales debido a lo cual será necesario un mantenimiento casi constante de los parámetros básicos como la temperatura.

Las dificultades en el manejo de estas delicadas bacterias explican que la investigación sistemática tanto de su morfología como de la Bioquímica fisiológica sólo se halla iniciado hace cincuenta años.

Hoy en día gracias a estudios muy recientes podemos conocer mejor el mecanismo y funcionamiento de este complejo sistema microbiológico involucrado en la descomposición de la materia orgánica que la reduce a sus componentes básicos CH_4 y CO_2 .

3.2 Tipo de materia prima

Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesamiento de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas.

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas.

Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina.

En lo referente a estiércol de animales, la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos.

Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias. Esto es debido al sinnúmero de factores que intervienen que hacen muy difícil la comparación de resultados por lo tanto los valores brindados deben ser tomados como orientativos como se observa en la Tabla 3.1.

En cuanto al volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables de acuerdo fundamentalmente al peso y al tipo de alimentación y manejo de los mismos. Cuando se encare un proyecto específico se recomienda realizar una serie de mediciones en el lugar donde se emplazará el digestor.

A modo ilustrativo se expone a continuación un cuadro indicativo sobre cantidades de estiércol producido por distintos tipos de animales y el rendimiento en gas de los mismos tomando como referencia el kilogramo de sólidos volátiles.

ESPECIE	PESO VIVO	kg ESTIERCOL/ día	%CH ₄
Cerdos	50	4,5 - 6	65 - 70
Vacunos	400	25 -40	65
Equinos	450	12 - 16	65
Ovinos	45	2,5	63
Aves	1.5	0,06	60
Caprinos	40	1,5	--

Tabla 3.1 Porcentaje de Metano de Algunos Animales.

3.3 Parámetros necesarios para la producción de Biogás

Considerando que las bacterias son el ingrediente esencial del proceso de Biodigestión, es necesario mantenerlas en condiciones que permitan asegurar y optimizar su ciclo Biológico los principales parámetros que influyen en la producción de Biogás son seis [11]:

- **Temperatura**
- **Tiempo de retención**
- **Relación carbono-nitrógeno**
- **Ph**
- **Porcentaje de solidos**
- **Agitación**

a) **Temperatura**

La temperatura determina la formación de Biogás en un tiempo determinado, el proceso se lleva acabo satisfactoriamente en dos rangos bien definidos, entre 10°C y 37°C, para la temperatura mesofílica (esta temperatura se caracteriza por ser lenta al momento de la Biodigestión) y, entre 55°C y 60°C para temperatura termofílica (esta temperatura se caracteriza por una Biodigestión rápida y poco tiempo de retención).

Para que las bacterias trabajen en forma óptima, se requiere mantener la temperatura lo más constante posible, es decir, sin variaciones bruscas durante el día.

El proceso mesolífico es más estable, pero el rango de temperatura termofílica debido a la alta temperatura produce aproximadamente el doble de gas metano que el proceso mesofílico.

Se ha observado que la producción de metano se incrementa con la temperatura, la temperatura ideal es de 35°C, existe otro rango de temperatura, el psicrófilico (por debajo de 25°C) [12].

b) Tiempo de retención

El tiempo de retención se refiere al número de días que la Biomasa tarda en producir Biogás. El tiempo de retención va ligado con la temperatura, ese número de días depende de la temperatura a la que se encuentre la Biomasa. Existen tablas teóricas que pueden dar una idea del tiempo de retención de acuerdo al tipo de Biomasa, o a la temperatura que se encuentre.

La Tabla 3.2 muestra en general, un promedio del tiempo de retención que se requiere de algunos tipos de Biomasa como es: vacuno, porcino, estiércol mezclado con plantas, etc.

Temperatura (°C)	Días
10	55
20	25
30	10

Tabla 3.2 Tiempo de retención de la Biomasa.

c) Relación carbono-nitrógeno

La relación carbono-nitrógeno es un factor importante porque puede llegar a inhibir la producción de metano.

Los microbios siempre consumen estos elementos en determinada proporción medidos por la relación carbono-nitrógeno (C/N) que contiene la materia orgánica.

Existen demasiados criterios en lo referente a esta relación, pero se maneja como valor aceptable una relación C/N de 20-30:1.

Las excretas de humanos y animales ricos en nitrógeno, con una relación C/N inferior a 25:1, durante la fermentación tiene una mayor velocidad de Biodegradación y generación de gas, en cambio los residuos agrícolas son ricos en carbono, con una relación C/N superior a 30:1, pero con una generación más lenta de gas en el proceso de Biodigestión.

d) Ph

Al igual que la relación carbono-nitrógeno, el pH, puede llegar a inhibir el proceso de Biodigestión.

Los microorganismos anaeróbicos necesitan un pH en torno de neutralidad para su correcto desarrollo, el rango de pH de 7, el principal equilibrio químico que controla la alcalinidad es el dióxido de carbono-bicarbonato. La relación de alcalinidad, debe mantener un rango adecuado para evitar la acidificación y asegurar la estabilidad del Biodigestor. Esto significa que no debe ser ni ácido ni alcalino [13].

A medida que las bacterias acidogénicas producen el ácido, las bacterias metano génicas consumen ese ácido para mantener la neutralidad del sustrato, pero la cantidad de estas últimas pueden no ser suficientes por lo que la solución se vuelve ácida y no hay producción de metano.

e) Porcentaje de solidos

Para la producción de Biogás, tratamiento de efluentes y operación del reactor no es conveniente que la carga a degradar este muy concentrada ni muy diluida, se recomienda una concentración de 5-10% en sólidos. Sobre la base de los sólidos totales de la carga pueden calcularse la concentración de los lodos, la cantidad de agua que habrá que agregar y las proporciones de los componentes.

Toda la materia orgánica residual que se detiene como alimentación del Biodigestor, generalmente está compuesta por una importante cantidad de agua y una fracción sólida caracterizada por la concentración de sólidos totales (ST).

Es necesario calcular el volumen de agua para diluir la materia prima, hasta la producción adecuada, de acuerdo al contenido de sólidos del residuo a utilizar. Por ejemplo, en el caso de utilizar estiércol bovino fresco, que contiene entre un 17% al 20% de sólidos totales, se deberá agregar de 1 a 1.5 litros de agua por cada kilogramo de estiércol fresco, a fin de obtener una mezcla con 8% de sólidos totales.

e) Agitación

Lo que buscamos con un sistema de agitación es homogenizar la materia orgánica y mantener condiciones de temperatura de tal manera que se facilite el proceso de descomposición de la materia orgánica optimizando las condiciones para la generación de metano dentro del Biodigestor. También se pretende romper la costra generada y así el Biogás que se queda en la parte inferior salga y se pueda almacenar. En la actualidad existen diversos sistemas de agitación, para nuestro caso se realizó un sistema sencillo con el fin de lograr lo mencionado anteriormente, el sistema desarrollado se detallará más adelante.

3.4 Agitación - Mezclado

Los objetivos buscados con la agitación son: remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanógenas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar la formación de costra que se forma dentro del digestor, uniformar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios “muertos” sin actividad Biológica.

En la selección del sistema, frecuencia e intensidad de la agitación se deberá realizar las siguientes consideraciones: El proceso fermentativo involucra un equilibrio simbiótico entre varios tipos de bacterias. La ruptura de ese equilibrio en el cuál el metabolito de un grupo específico servirá de alimento para el siguiente implicará una simple actividad Biológica y por ende una reducción en la producción de gas.

Existen varios mecanismos de agitación utilizados desde los más simples que consisten en un batido manual o el provocado por la entrada y salida de los líquidos hasta sofisticados equipos que involucran agitadores a hélice, recirculadores de sustrato e inyectores de gas.

3.5 Diferentes aplicaciones

En la Tabla 3.3 se presentan algunos de los principales artefactos que utilizan Biogás así como su consumo medio y su eficiencia.

ARTEFACTO	CONSUMO	Rendimiento (%)
Quemador de cocina	300-600 l/h	50-60
Lámpara a mantilla	120-170 l/h	30-50
(60W)	-30-75 l/h	20-30
Heladera de 100 L	0,5 m ³ /kWh	25-30
Motor a gas	2 m ³ /h	80-90
Quemador de 10 kW	30 l/h	95-99

Tabla 3.3 Aplicaciones y su consumo.

Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, agrandando el paso del gas de los quemadores. La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace promisorio e interesante su utilización a gran escala.

Las lámparas a gas tienen una muy baja eficiencia y el ambiente donde se utilicen, debe estar adecuadamente ventilado para disipar el calor que generan.

El refrigerador constituye un interesante campo de aplicación directo del Biogás debido a que tienen un consumo parejo uniforme durante el día y lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas.

Estos equipos funcionan bajo el principio de la absorción (generalmente de ciclo amoníaco refrigerante - agua absorbente). Recientemente se han desarrollado equipos para el enfriamiento de leche y/u otros productos agrícolas lo que abre un importante campo de aplicación directa y rentable del mismo

El Biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto nafteros como diesel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido.

En la Figura 3.1 se muestra los diferentes usos que tiene el Biogás.

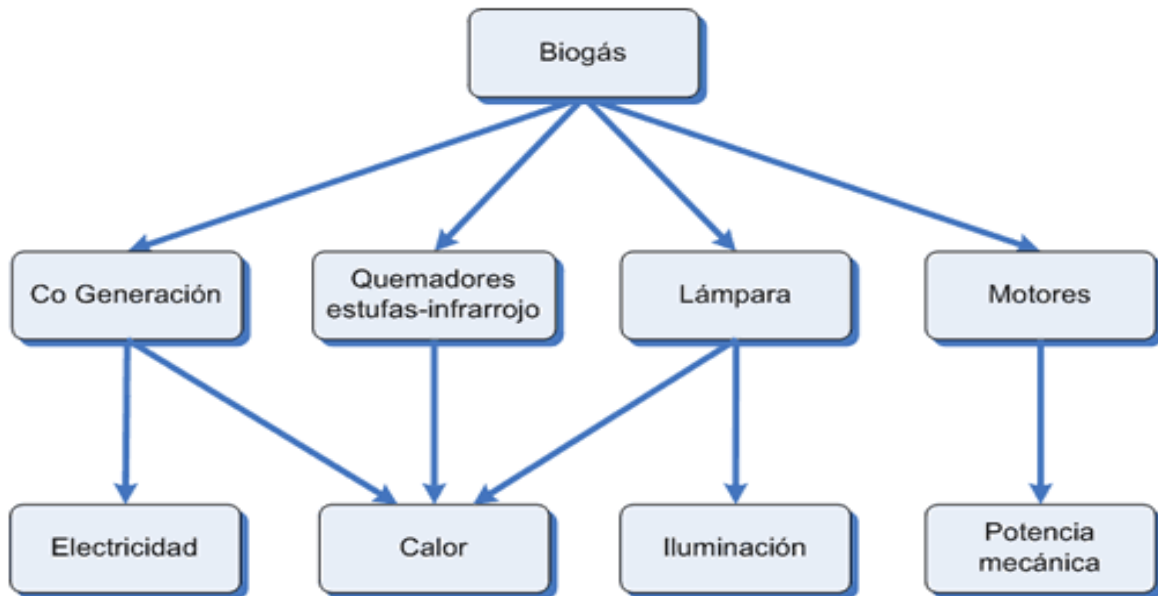


Figura 3.1 Esquema de la Aplicación del Biogás.

Un metro cúbico de Biogás totalmente combustionado es suficiente para realizar alguna de las siguientes:

- Generar 1.25 kw/h de electricidad.
- Generar 6 horas de luz equivalente a un foco de 60 watt.
- Poner a funcionar un refrigerador de 1 m³ de capacidad durante 1 hora.
- Hacer funcionar una incubadora de 1 m³ de capacidad durante 30 min.
- Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas.

3.5.1 Principios de la combustión

El Biogás mezclado con aire puede ser quemado en un amplio espectro de artefactos descomponiéndose principalmente en CO_2 y H_2O .

El requerimiento de aire mínimo sería del 21% pero esta cifra debe ser aumentada para lograr una buena combustión.

La relación aire-gas puede ser ajustada aumentando la presión del aire, incrementando la apertura de la válvula dosificadora de gas (el Biogás requiere de una apertura 2 a 3 veces mayor a la utilizada por el metano puro y modificando la geometría del paso de aire desde el exterior).

Debido al contenido de dióxido de carbono, el Biogás tiene una velocidad de propagación de la llama lenta, 43 cm/seg. Y por lo tanto la llama tiende a escaparse de los quemadores.

La presión para un correcto uso del gas oscila entre los 7 y los 20 mbar. Se debe tener especial cuidado en este aspecto debido a que se deberán calcular las pérdidas de presión de salida del gasómetro (adicionándole contrapesos en el caso de gasómetros flotantes) [14].

3.6 Producción de fertilizantes

Como subproductos después de la generación del metano y en función a la carga utilizada y al método seguido se pueden obtener dos tipos de abonos, líquidos o sólidos.

Los líquidos provenientes de digestores continuos de alta tasa de carga, con bajo contenido de sólidos totales, el inconveniente de este abono es su comercialización por el estado físico de su presentación.

Los sólidos provenientes de digestores batch o semi-continuos producen residuos sólidos de gran poder fertilizante, que luego de ser secados se pueden comercializar sin problemas.

3.6.1 CON FIN CONSERVACIONISTA

Se trata de preservar y mejorar el medio ambiente ecológico protegiendo los bosques, sustituyendo metano por leña, disminuyendo así la presión sobre las masas forestales, que generalmente se observa en el medio rural, debido al déficit de combustible. También ayuda a la conservación del ambiente a tratar en forma adecuada los desechos de origen orgánico que causan contaminación, acumulación de basuras y proliferación de artrópodos, causantes de diferentes enfermedades.

Capítulo 4. Construcción física del Biodigestor

Algunos de los aspectos a considerar al momento de construir un Biodigestor son los siguientes:

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. Localización, la ubicación si es en zona urbana, rural o semi-urbana y la geografía aspectos como la latitud, longitud y altitud. Técnicas de construcción si es de tierra compactada, cal y canto o ladrillo (barro cocido, suelo-cemento), planchas prefabricadas, ferro cemento, concreto, módulos prefabricados. Factores utilitarios, función principal, si se construye de manera experimental, demostrativa o productiva.

4.1 Biodigestor con agitación

Este tanque contiene un agitador con 3 aspas, estará acoplado a un motor eléctrico y su respectivo mecanismo de poleas y bandas, también agitación manual como se observa en la Figura 4.1, el objetivo del agitador es romper la costra o nata que se forma en la parte superior del tanque, así el Biogás que se encuentra atrapado en la parte inferior sea liberado. En otras palabras, la agitación es una forma de mantener la mezcla en constante movimiento y tanto garantizar que las bacterias estén en contacto permanente.

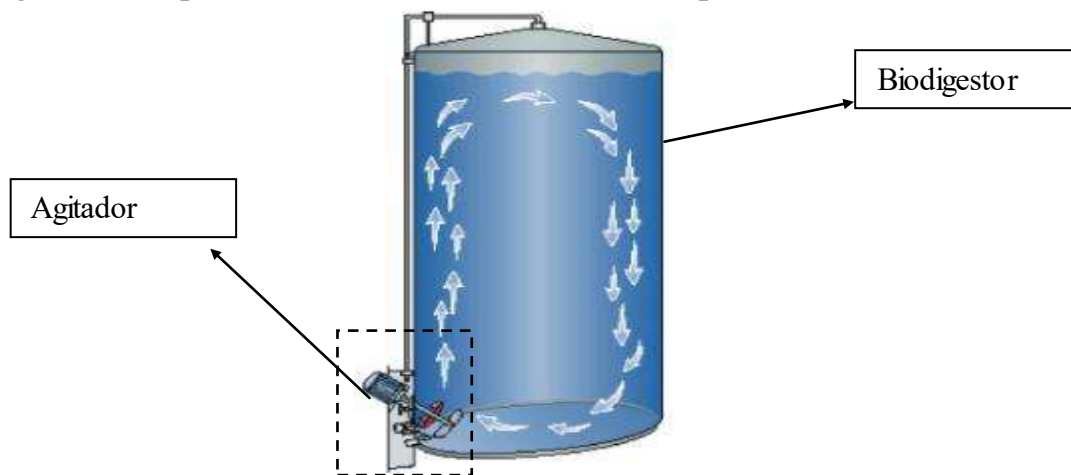


Figura 4.1 Imagen del Biodigestor dotado con agitador.

4.2 Objetivo de la agitación.

En las industrias de procesos, un gran porcentaje de operaciones dependen de un alto grado de agitación y mezclado eficaz de los fluidos. Por lo general, la agitación se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. El mezclado implica partir de dos fases individuales, tales como un fluido y un sólido, o dos fluidos y lograr que dos fases se distribuyan entre sí [15].

Lo que se pretende que al dotar de un agitador a un sistema de Biodigestor es exclusivamente romper la nata o costra que se forma en la interface, no es que genera más Biogás, lo que sucede es que al romper la nata, el Biogás atrapado en las partes más bajas tiende a subir por eso se dice que un agitador acelera el proceso de obtención de Biogás.

4.3 Equipo para agitación

Generalmente, los líquidos se agitan en un recipiente cilíndrico que puede estar cerrado o abierto. Un motor eléctrico impulsa al propulsor del agitador que se monta en el eje. Los sistemas típicos de agitación se mencionan a continuación.

- a) **Agitador propulsor de tres aspas:** Uno de los más conocidos es el agitador de tres aspas de tipo marino similar a la hélice de un motor fuera de borda para lanchas.
- b) **Agitador de paletas :** Este se usa para velocidad de 20 a 200 rpm
- c) **Agitador tipo turbina:** Se usa cuando se procesan líquidos con amplia diversidad de viscosidades de líquidos.
- d) **Agitadores de banda helicoidal:** Este tipo de agitadores se usan para soluciones sumamente viscosas y opera a pocas revoluciones por minuto.

4.4 Construcción del agitador

La agitación de la Biomasa puede ser manual o mecánica, para este caso se hizo un sistema de agitación manual que consiste en un eje de 40 cm. con 2 pares de aspas como se observa en la Figura 4.2, este agitador también cuenta con una manivela, la cual podemos observar en la Figura 4.3, dicha manivela ayuda a darle movimiento suave y uniforme a la Biomasa. Aproximadamente el movimiento que se le da es de 15-30 rpm durante un dos minutos, esto tres veces al día.

El agitador fue diseñado para mover la mezcla y puede ser manipulado desde varias posiciones. Se recomienda que el movimiento del agitador sea suave y continuo para que las bacterias estén en contacto y el Biogás tenga una salida eficiente.

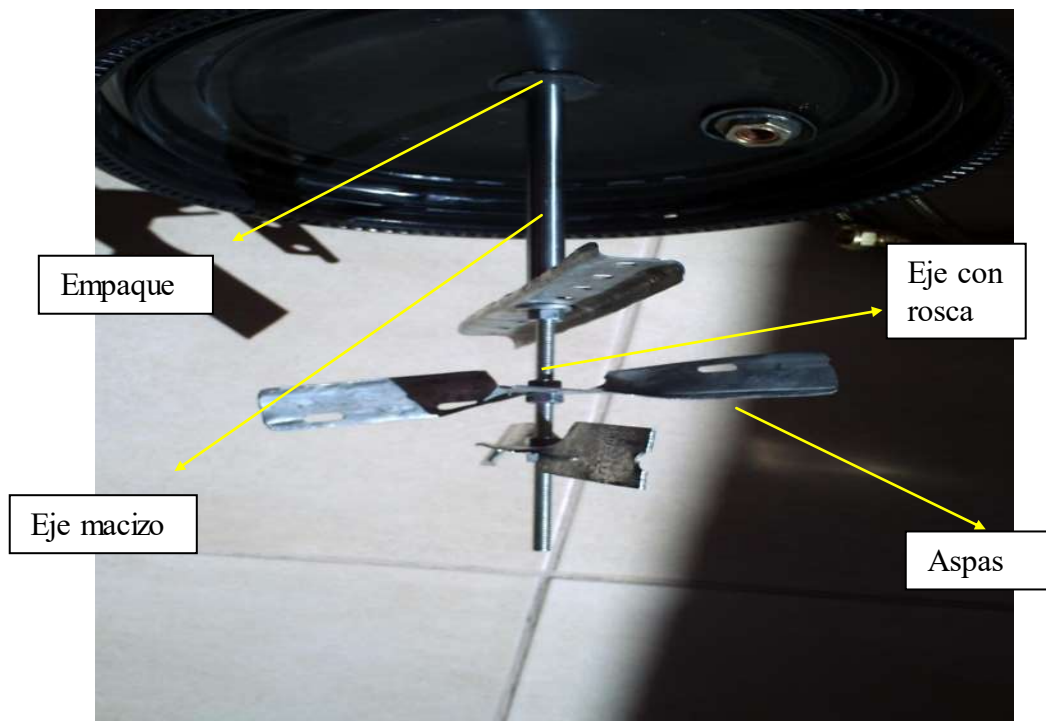


Figura 4.2 Imagen del Agitador con sus respectivas aspas.

En esta imagen se muestra un agitador que fue hecho de una varilla roscada de 5/16'', para el eje, las tuercas de 5/16''.

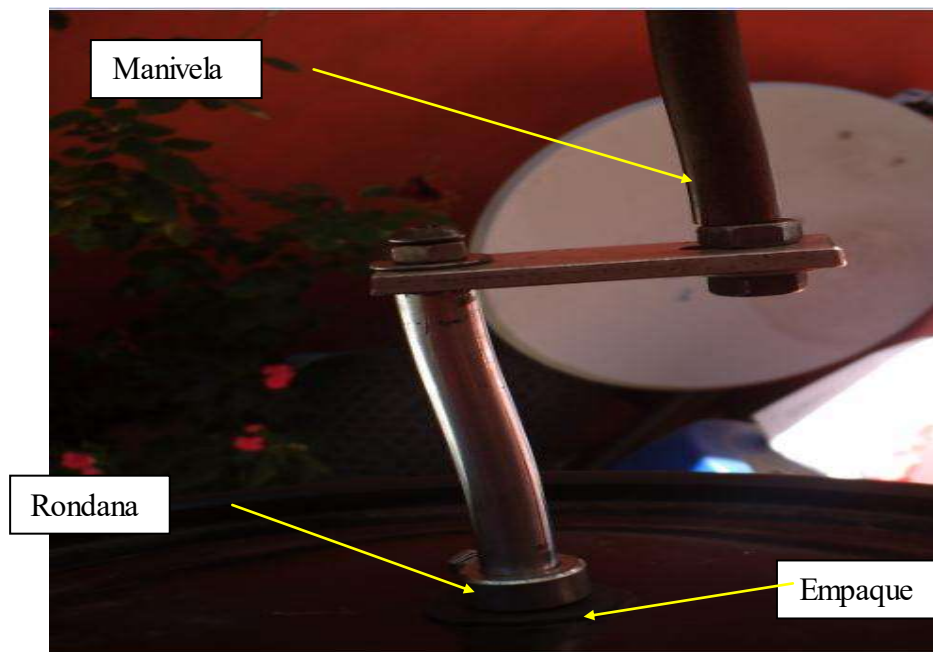


Figura 4.3 Manivela del Agitador.

En la Figura 4.3 se muestra la manivela del agitador, que fue hecha con una solera de 2'' de ancho x 1/4'' de grueso, lleva un tornillo de 5/16'' x 4.5'' de largo, un buje de 1/2'' x 4'' de largo , también lleva 2 rondanas planas de 5/16'' y 1 tuerca de 5/16''.

4.5 Partes físicas del Biodigestor

En la Figura 4.4 se muestra el tanque hermético para la elaboración del Biodigestor. Se observa que cuenta con una tapa y un seguro para que no haya fugaz en el. Este tanque aproximadamente es de 60 litros de capacidad.



Figura 4.4 Tanque Hermético.

Para nuestro proyecto se realizarán 2 Biodigestores con características diferentes, el primero es el Biodigestor con Agitación y el otro Biodigestor es normal (sin ningún componente externo que altere su producción).

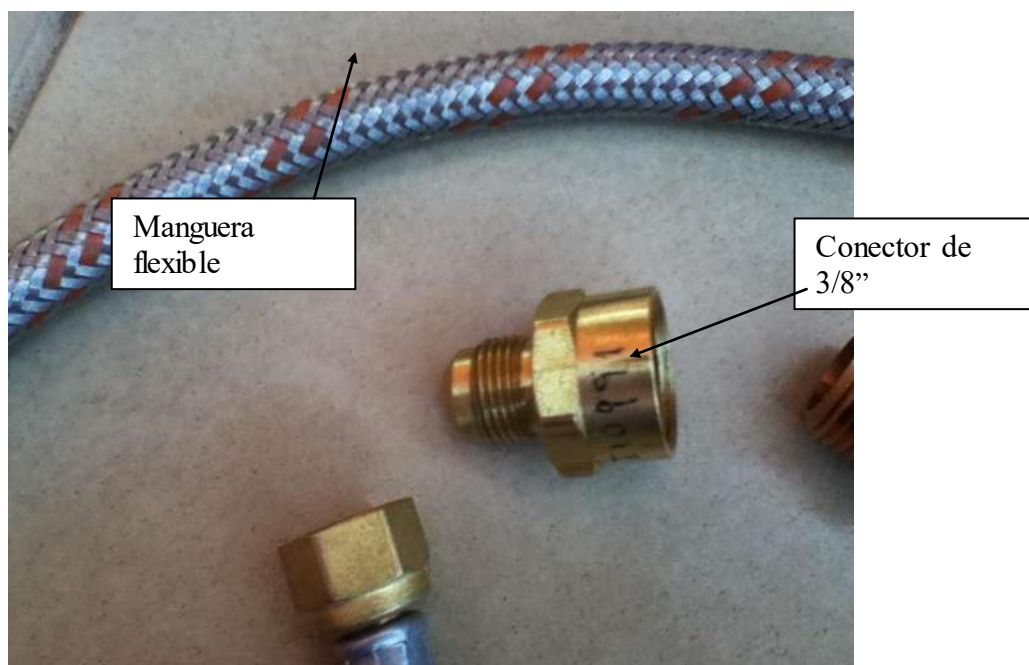


Figura 4.5 Conector de 3/8" para gas.

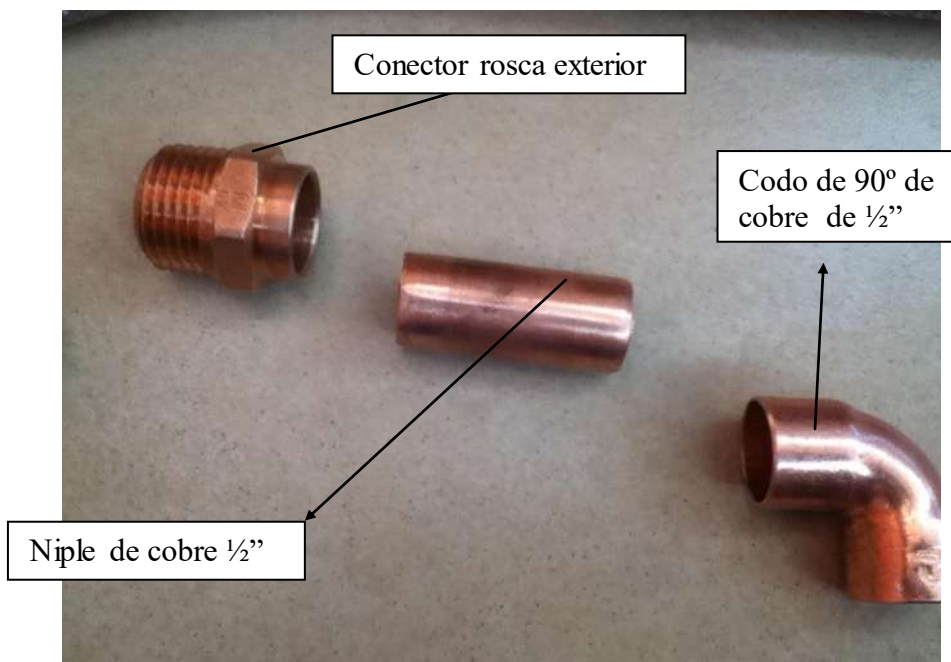


Figura 4.6 Componentes de tubería.

En la Figura 4.5 se observa el conector de 3/8" el cual va conectado a la manguera por la cual saldrá el Biogás generado.

Los elementos que se ven en la Figura 4.6 después de soldarlos nos servirán para conectarlo en la válvula de esfera de 1/2" Figura 4.7.



Figura 4.7 Válvula de esfera de 1/2"



Figura 4.8 Presentación de las piezas

En la Figura 4.7 se muestran partes del ducto para el flujo de gas, cuenta con la válvula de esfera 1/2" soldada a dos conectores y un tubo de cobre de 1/2". En la Figura 4.8 se muestra los elementos de la parte superior del Biodigestor Por el cual una vez soldados correctamente nos servirán para la salida del Biogás.

Para el almacenamiento del Biogás se mandaron hacer 2 bolsas de material de lona comercial de aproximadamente 1 m^2 completamente sellada como se muestra en la Figura 4.9 en la cual llevará una adaptación de tubería para el Biogás Figura 4.10.



Figura 4.9 Bolsas de lona.

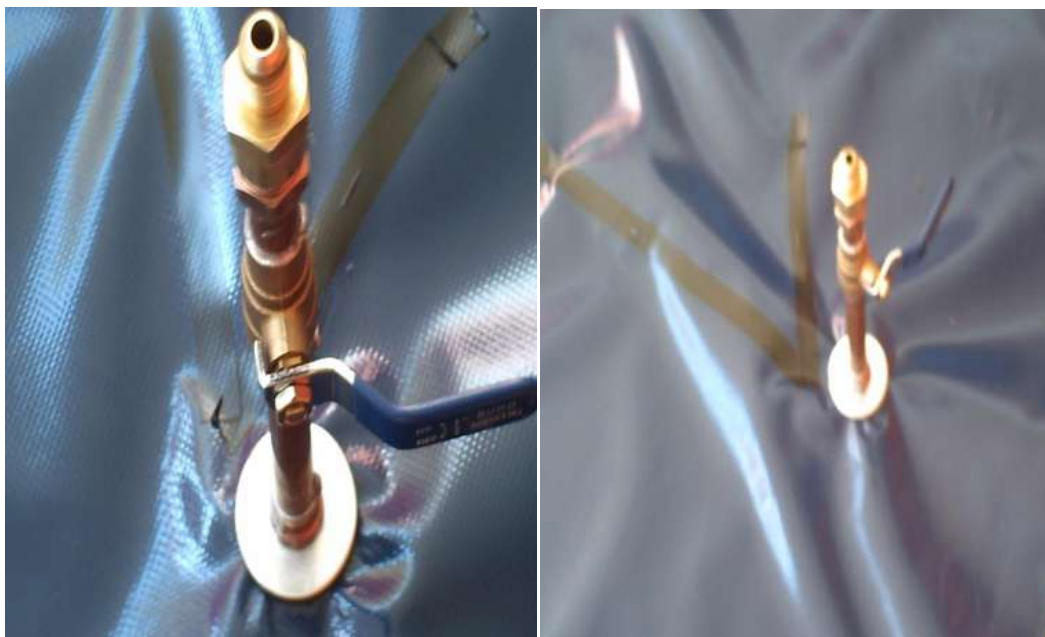


Figura 4.10 Adaptación de la tubería a la Bolsa.

4.6 Puesta en marcha del Biodigestor

Al iniciar la fabricación del prototipo, se requiere soldar todas las conexiones de tubería, ya que si no se tiene la hermeticidad adecuada el sistema es ineficiente debido a la fuga del gas en el sistema. Una vez realizado este paso se requiere obtener la materia prima, que en este caso es la Biomasa, que se observa en la Figura 4.11.



Figura 4.11 Obtención de la Biomasa.

Para poder ingresar la Biomasa al digestor, se requiere de un pequeño limpiado de la misma, ya que puede tener rastrojo o tierra.

Después de lo anterior, se proporcionan las cantidades de estiércol y agua, para después verterlo en el tanque de carga del Biodigestor, para después mezclarlo homogéneamente Figura 4.12.



Figura 4.12 Llenado de los tanques.

En la Figura 4.12 se observa el llenado del digestor con la proporción de estiércol y agua, así como su mezclado homogéneo para que no queden bolas de estiércol y se haga como lodo.



Figura 4.13 Biodigestor cargados con Biomasa.



Figura 4.14 Presentación puesta en marcha para producir Biogás.

En la Figura 4.14 se observa la puesta en marcha de los Biodigestores, de lado izquierdo se aprecia el Biodigestor tradicional y del lado derecho esta con el que cuenta con un agitador este ya están conectados con sus respectivas tuberías y almacenaje.



Figura 4.15 Presentación de los Biodigestores.



Figura 4.16 Presentación de bolsas con Biogás.

En la Figura 4.16 se observan las bolsas de lona que fueron hechas para almacenar el Biogás, del a lado derecho esta la bolsa que está conectada al Biodigestor con agitador, y del lado izquierdo está conectada al tradicional.



Figura 4.17 Otra perspectiva de imagen de las bolsas con Biogás.

4.7 Uso del Biodigestor para la generación de energía eléctrica

La necesidad de alternativas de producción energética, mediante la implementación de prácticas amigables con el ambiente y el aprovechamiento de los recursos disponibles, crea un clima favorable para la promoción e implementación de la tecnología de Biodigestores, obteniendo como beneficio la producción de Biogás. Por tanto, aprovechar de manera eficiente este combustible es de importancia para sustituir las tradicionales fuentes energéticas no renovables, escasas y costosas, convirtiendo la explotación agropecuaria en una actividad económica más rentable y menos contaminante.

El Biogás puede ser utilizado para reemplazar la gasolina hasta en un 100 %, mientras que en motores diesel sólo se logra un máximo de 80 % del combustible, debido a que la baja ignición del Biogás no permite que haya explosión en este tipo de motores que carecen de bujía.

4.7.1 Equipamiento para generación de electricidad

Generadores a Gas. Versátiles para funcionar con Biogás y otros gases alternativos como se observa en la Figura 4.19 (al funcionar con Biogás se pierde un 10% de potencia en el motor, lo que conlleva el mismo nivel de pérdidas en la generación de electricidad).

A continuación se muestra un motor diesel en la Figura 4.18 adaptados para funcionar con Biogás



Figura 4.18 Generador con motor Diesel adaptado **Figura 4.19** Generador con motor para Biogás

Generadores a Gas con motor Diesel. En la Figura 4.20 se muestran las diferentes etapas que constituyen un esquema típico de la operación de un sistema operado mediante la combustión de gas y diesel.

En el caso de los motores diesel, el Biogás puede reemplazar hasta el 80% del combustible.

La baja capacidad de ignición del Biogás no permite reemplazar la totalidad del combustible en este tipo de motores que carecen de bujía para la combustión.

El gas es succionado junto con el aire de combustión hacia el cilindro.

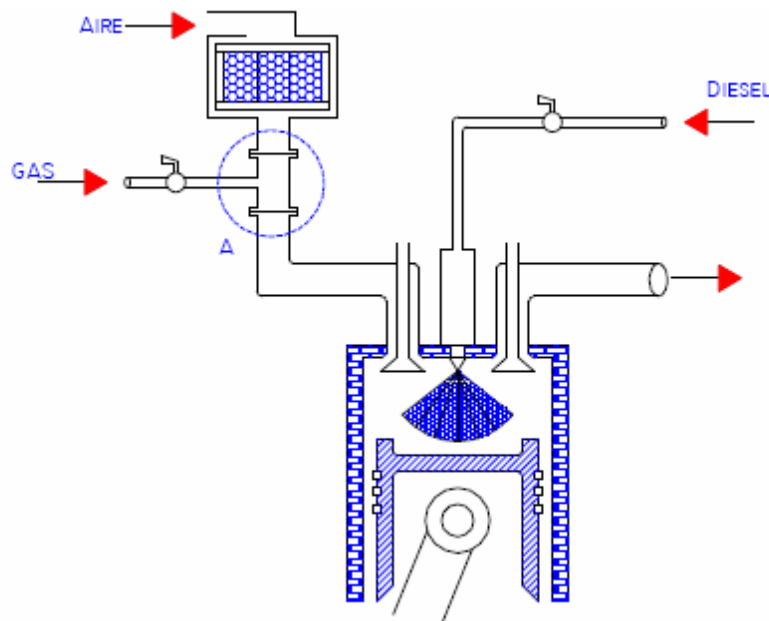


Figura 4.20 Diagrama de Combustión de Gas- Diesel.

En el Biogás se encuentran cantidades variables de sulfuro de hidrógeno (H_2S), también denominado ácido sulfhídrico. El H_2S al reaccionar con agua se convierte en ácido sulfúrico (H_2SO_4) el cual es altamente corrosivo y puede ocasionar graves daños en el motor [16].

4.8 Esquema típico generalizado en la producción con Biogás

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

En la Figura 4.21 se pueden observar las etapas que lleva a cabo la producción de la energía eléctrica por medio del Biogás, desde la transportación hasta la obtención de la misma.

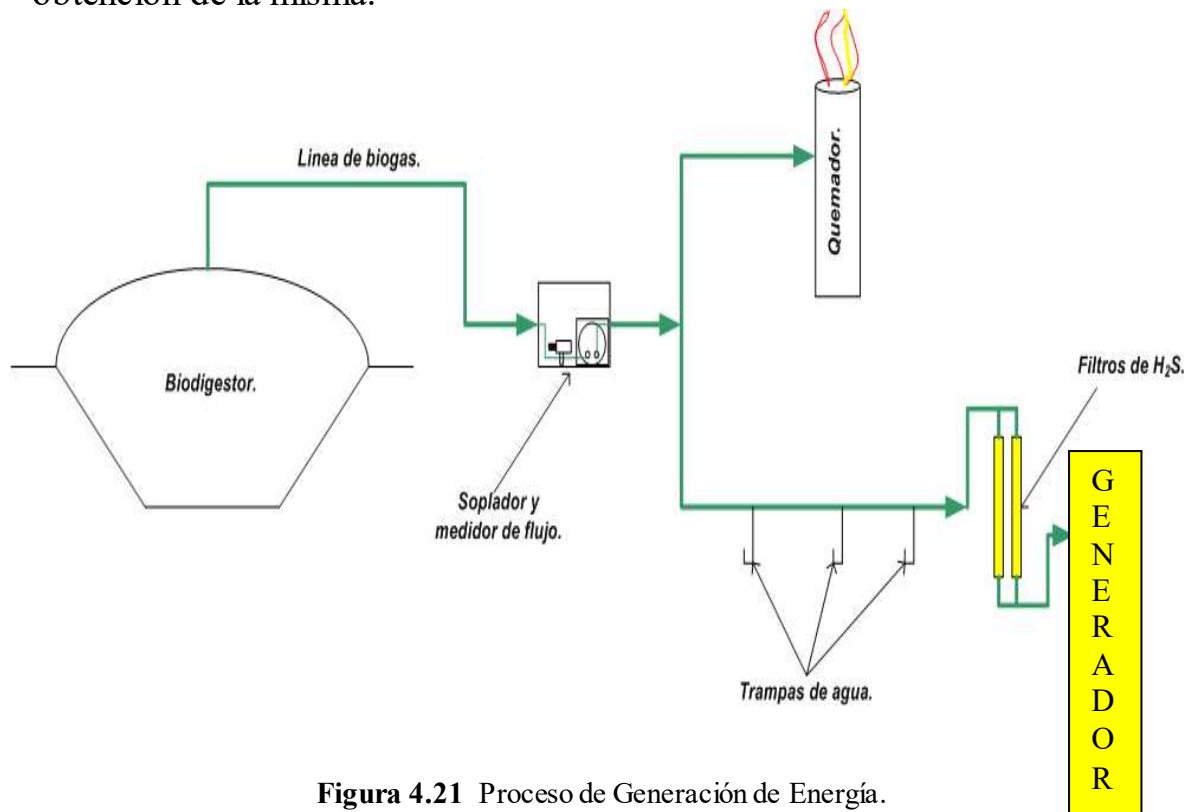


Figura 4.21 Proceso de Generación de Energía.

Biodigestor: Su función es la recepción de materia prima y la preparación de la mezcla a fermentar. El caldo se refiere a la materia prima que ingresa y se mezcla con agua. La composición del caldo es variable, pero se puede decir que los componentes orgánicos mayoritarios provienen del estiércol de ganado vacuno y porcino.

Línea de Biogás: El sistema de conducción de gas remueve el biogás desde el Biodigestor y lo transporta.

Soplador y medidor de flujo: El soplador es un extractor de gas lo que hace es succionar el Biogas. El medidor de flujo de datos ayudará a establecer y tener en cuenta variaciones específicas en la generación de biogás que no específicas en la generación de biogás que no puedan explicarse en los modelos.

Quemador: Se utiliza para el quemado del biogás y es una medida de seguridad y evitar el "efecto invernadero".

Trampas de agua: El agua condensada en las tuberías debe escurrir hacia los puntos bajos donde están localizadas las trampas de agua

Filtros de H_2S : Los flitros tienen un fin el cual es eliminar o disminuir el porcentaje de H_2S en el biogás

Capítulo 5. Conclusiones

La digestión anaeróbica se ha utilizado por décadas en la producción del Biogás, actualmente se han retomado debido a la demanda y a la contaminación de las energías no renovables.

Se realizaron dos prototipos de Biodigestores los cuales están basados en el modelo tradicional, el cual consiste en un contenedor herméticamente sellado dotado de tubería para la salida del biogás, el segundo Biodigestor es similar al anterior simplemente cuenta con un agitador mecánico.

Sin duda alguna dicho equipo puede ser de mucha ayuda en cualquier hogar donde el acceso a servicios básicos este limitado. Se debe instalar en lugares cálidos donde se obtenga la materia prima para que sean autosuficientes. Lo ideal sería que cada familia tenga su propio Biodigestor y así el efluente que se obtenga serviría de abono, además por ser un gas natural su contaminación sería casi nula.

Los resultados obtenidos con el equipo de agitación resulto ser eficiente debido a que se obtuvo poco estancamiento de la Biomasa, por lo general se liberó más Biogás, a diferencia del primero.

De los resultados obtenidos con el Biodigestor con agitador se concluye que no es necesario velocidades muy grandes de agitación, ya que solo se pretende darle un movimiento uniforme, además no se requiere una agitación frecuente. De acuerdo a mi experiencia es suficiente agitarlo aproximadamente de 2 a 3 veces al día por periodos de 3 a 5 minutos.

Observando las bolsas de los dos Biodigestores es evidente una producción mayor del Biogas en la bolsa que está conectada al equipo de agitación.

El Biodigestor con agitador tuvo una producción de Biogás el cual se dio en 6 días mientras que a diferencia de otro tuvo en 14 días

El Biogas generado fue de: 0.3534400 m^3 , por lo que si quisiéramos obtener 1 m^3 de dicho fluido es necesario recargar tres veces el equipo de agitación.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- [1] anexo 8, tipos de biomasa, plantación y poda de vida
- [2] <http://es.scribd.com/doc/55263098/6/Convirtiendo-Biomasa-en-Energia>
- [3] http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/san_juan/712/biogás_historia_usos_y_aplicaciones
- [4] MEDINA, L. (1984); “Evaluación Técnico-Económica del uso de Estanques Prefabricados de Asbesto-Cemento; modificados para producir Biogás”. Maracay. Tesis de ingeniería Facultad de Agronomía. U.C.V. pp. 68
- [5] TAYLHARDAT, L. (1986): “El biogás. Fundamentos e Infraestructura Rural”. Maracay. Instituto de Ingeniería Agronomía. U.C.V. pp. 68
- [6] http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_animal/brochure-biodigestor.pdf
- [7] http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/otras_energias/biogas/biog_c3.htm
- [8] <http://www.rembio.org.mx/2011/Documentos/Cuadernos/CT5.pdf>
- [9] RIQUELME PEREZ J. “Problemas de Estimación/Observación en Procesos de Biodigestión Anaeróbica”
- [10] <http://aplicacionesbiogas.blogspot.mx/>
- [11] Biodigestor de polietileno: construcción & diseño CEDECAP
- [12] CONTRERAS L; DOMINGUEZ P. (2006): Producción de Biogás con fines Energéticos. De lo histórico a lo Estratégico. Revista Futuros Volumen VI.
- [13] SASSE LUDWING (1984). La planta de Biogás. Bosquejo y Detalle de Plantas Sencillas. Artículo.
- [14] <http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/07-Manual.pdf>
- [15] GEANKOPOLIS CHISTIE J. “Procesos de Transferencia de calor”, Trigésima primera reimpresión.
- [16] <http://materias.fi.uba.ar/6756/Aplicaciones%20del%20Biogas%201C%2007.pdf>

