



Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Programa Educativo
Energías Renovables

Reporte para obtener título de
Ingeniero en Energías Renovables

Proyecto de estadía realizado en la empresa
SISTEMA DE AHORRO ENERGETICO SUSTENTABLE DE XALAPA

Nombre del proyecto
Control de propiedades fisicoquímicas en Biodigestor

Presenta
José Omar Peña Monterosas

Cuitláhuac, Ver., a 24° de Abril de 2018.



Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Programa Educativo
Energías Renovables

Nombre del Asesor Industrial
Ing. Leopoldo Arturo Martínez Miranda

Nombre del Asesor Académico
Edgar Eduardo Luna de la Luz

Jefe de Carrera
Enrique Castillo Zaragoza

Nombre del Alumno
Peña Monterosas José Omar

AGRADECIMIENTOS

Reconozco con enorme gratitud a mis padres por este gran logro ya que sin el apoyo de ellos no podría haber llegado hasta donde me encuentro, de igual forma agradezco a compañeros y maestros que me inculcaron gran conocimiento y apoyaron durante todo este proceso, un especial agradecimiento a la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz por aportarme conocimiento, experiencias y permitirme culminar mis estudios dentro de su institución.

RESUMEN

El uso de biodigestores como fuente de Energía Renovable a partir de desechos orgánicos de origen vegetal y animal. El proceso de la descomposición anaerobia o digestión anaerobia dan como resultado finales productos tales como Metano (CH_4) el cual se puede utilizar como combustible directo en hogares o fábricas y bioabono un producto secundario del proceso, pero de igual manera muy útil debido a su gran riqueza en nutrientes, el cual puede utilizarse para fertilizar campos para dedicados a al cultivo. Las grandes cantidades de materia orgánica son desechadas día a día sin darles un uso adecuado las cuales por propia cuenta expiden gases al medio ambiente, los proyectos de biodigestores no buscan neutralizar dichos gases ya que es un proceso natural, en cambio se pretende utilizarlos concentrándolos en un contenedor para posteriormente utilizarlos en donde sea necesario, en lugares rurales esta materia es muy común en grandes cantidades y también es más difícil abastecer combustibles para uso doméstico por lo cual es un lugar inocuo para realizar instalaciones de dichos equipos.

Contenido

AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN	1
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 <i>Estado del Arte</i>	3
1.2 <i>Planteamiento del Problema</i>	4
1.3 <i>Objetivos</i>	5
1.4 <i>Definición de variables</i>	5
1.5 <i>Hipótesis</i>	5
1.6 <i>Justificación del Proyecto</i>	6
1.7 <i>Limitaciones y Alcances</i>	6
1.8 <i>Empresa (SISTEMA DE AHORRO ENERGETICO SUSTENTABLE DE XALAPA)</i>	7
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	8
2.1 <i>Biomasa</i>	8
2.2 <i>Biodigestión</i>	8
2.3 <i>Etapas de la digestión anaerobia</i>	8
2.4 <i>Condiciones necesarias para la biodigestión.</i>	11
2.5 <i>Diagrama esquemático del modelo bdm-riba1000</i>	12
CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO	14
3.1 <i>Procedimiento</i>	15
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	26
4.1 <i>Resultados</i>	26
4.2 <i>Trabajos Futuros</i>	27
4.3 <i>Recomendaciones</i>	27
ANEXOS	28
BIBLIOGRAFÍA	29

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El gas es una de las fuentes de energía más utilizadas tanto en la industria como en los hogares, el gas Butano y Propano más conocido como Gas LP es uno de los combustibles más utilizados en el mundo, en los últimos años el **Biogás (gas metano)** se ha considerado de gran interés como fuente de energía renovable por su fácil implementación dentro de zonas rurales.

El biogás ha sido de gran polémica por la supuesta contaminación que esta conlleva en su producción, considerando las emisiones que ocasiona la biodigestión de los residuos orgánicos de origen animal y vegetal al medio ambiente, pero cabe aducir muchas razones por la cual esta información es incorrecta, se considera correcto el dato de que la mayor parte de las emisiones contaminantes son producidas por los residuos orgánicos pero es importante destacar que esto sucede con o sin la participación de biodigestores, por esta razón se considera apropiado el manejo de dicha materia para poder concentrar y utilizar los productos finales inocuos y materia celular.

Mediante esta investigación se pretende mantener las propiedades fisicoquímicas adecuadas para una buena producción en los biodigestores, ya que sin un ambiente digno para las bacterias encargadas de la digestión anaerobia estas no se reproducen y mueren, reduciendo así la producción de Metano CH₄, también se pretende concientizar de que el uso de biodigestores es una manera segura de producción de energía (Biogás y Bioabono).

1.1 Estado del Arte

1770 El italiano Volta colecta gas de pantano e investiga su comportamiento.

1821 Avogadro identifica el Metano (CH₄).

1875 Propoff establece que la información del biogás se lleva a cabo bajo condiciones anaeróbicas.

1884 Investigaciones de Pasteur sobre la información del biogás a partir de los desechos de animales. El propone la producción del biogás para su uso en las linternas de las calles.

1906 En Alemania se construye la primera planta de tratamiento anaeróbico de aguas residuales.

1913 Primer digestor anaeróbico con uso de calentamiento.

1920 Primera planta de depuración de aguas residuales en Alemania que provee el biogás recolectado en un servicio de gas público.

1940 Adición del uso de residuos orgánicos a la depuración de aguas residuales para aumentar la producción del biogás.

1947 Investigaciones demuestran que los desechos de una vaca pueden proporcionar cinco veces más biogás que las heces fecales de una pequeña comunidad urbana.

1950 Instalación de la primera gran planta agrícola del biogás.

1950s Se construye alrededor de 50 plantas productoras de biogás, alimentadas de una mezcla de aguas residuales y desechos fecales. Problemas técnicos llevan al cierre de todas las plantas excepto dos.

1974 Después de la primera crisis energética aumenta el desarrollo y la implementación de nuevas tecnologías en la producción del biogás.

1985 Se instalan alrededor de 75 plantas productoras de biogás. La demanda de este nuevo recurso aumenta.

1990 Gracias a la estabilidad del precio para la formación del biogás y el desarrollo de tecnología se comienza a usar para la generación de energía eléctrica. Gracias al avance tecnológico se comienza a experimentar con diferentes tipos sustratos para la generación de biogás.

1990 Se funda la asociación de biogás alemana (Fachverband Biogás).

1997 Existen en Alemania más de 400 plantas agrícolas para la generación del biogás.

Dentro de México se han realizado investigaciones a nivel prototipo en el Instituto de Investigaciones Eléctricas y en el Instituto de Ingeniería de la UNAM así como el proyecto propuesto por el municipio de Tizayuca en el Estado de Hidalgo que contaba con la cuenca lechera más grande del estado desde hace más de 30 años los objetivos fueron tratar los residuos sólidos y líquidos que permitieran reducir significativamente el problema de contaminación y generar energía eléctrica con base en el biogás generado por la biodigestión del estiércol. (Zúñiga, 2007)

1.2 Planteamiento del Problema

Actual mente el uso de biodigestores dentro del país ha ido en crecimiento pero no a gran escala comparado con otras fuentes de energía, uno de los principales problemas que se aprecian es que las condiciones fisicoquímicas necesarias para que las bacteria encargadas de los procesos de la biodigestión pueden variar dependiendo de las condiciones climáticas o propiedades de los residuos orgánicos, como los son la temperatura y el PH, de esta forma impidiendo el acmé de producción de Metano CH₄, ya se tiene conocimiento de los rangos permitidos para dichas variables pero aún se debe considerar los procedimientos para controlar cualquier cambio fuero de los parámetros. *Cambio de estación del año, tormentas, alimentación de los animales que proveen los desechos y su estado de salud, residuos extras agregados, ciclo con el que se vacían los lodos (bioabono) entre otras situaciones más pueden alterar las bacterias encargadas de los procesos de biodigestión.*

1.3 Objetivos

Objetivo general: Desarrollar un biodigestor con las propiedades adecuadas para la producción de gas así como crear un plan para mantener o corregir las propiedades fisicoquímicas para una apropiada producción de biogás.

Objetivos específicos:

- Construcción de biodigestor con condiciones aceptables en donde se pueda realizar pruebas.
- Implementar estudios en muestras de materia orgánica utilizadas para la producción
- Desarrollar plan de mantenimiento con los tiempos adecuados para dichos estudios, lo cual nos permitirá corregir a tiempo cambios fisicoquímicos inadecuados.
- Detectar cuáles son los factores más influyentes en los cambios fisicoquímicos.
- Crear un sistema de recirculación de materia dentro del biodigestor.

1.4 Definición de variables

- PH. - Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.
- Temperatura. – La *temperatura* es una magnitud referida a las nociones comunes de calor medible mediante un termómetro. En física, se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica.
- Volumen.- Medidas del espacio de tres dimensiones ocupado por un cuerpo.
- Densidad.- Relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón.
- Presión.- Fuerza que ejerce un gas, un líquido o un sólido sobre una superficie.

1.5 Hipótesis

Es la declaración que se realiza cuando se especulan los resultados de una investigación o experimento. Con el término de la elaboración del equipo y el control adecuado de acidez y temperatura un biodigestor de un metro cúbico produce un volumen de biomasa diario de 886 kg lo que produce de gas 0.14 m³ de gas, por lo tanto: Conversión metro cúbico en kg de propano.

El metro cúbico es la unidad del sistema internacional de medida de volumen y equivale a 1000 litros. Se conoce la masa volumétrica del propano en el estado líquido, que es 0,51 kg/l a 15° Celsius, la masa volumétrica varía según la temperatura y la presión. En un metro cúbico de propano hay 0,51 x 1000 = 510 kg de propano por lo tanto la conversión a kg es 0.14 m³ = 150 k. de gas.

1.6 Justificación del Proyecto

Actualmente existen muchas zonas rurales en donde difícilmente se puede llegar a abastecer de combustibles, en dichos lugares existe una materia en gran cantidad a la cual se le da muy poco uso, esta sería los desechos orgánicos de animales (excremento de porcinos y bovinos entre otros) su principal uso sería como abono de tierras, pero no se considera el hecho de que este es una gran fuente de Gas Metano, el cual se produce sin la intervención del hombre. Si se concentrara la materia estas emisiones también podrían almacenarse y no solo eso, sino que se mejoraría el ambiente para las bacterias y generaría CH_4 de mejor calidad y el lodo resultante tendría mejores propiedades químicas para utilizarlo como abono, el costo de para producir el producto final estaría dado a las dimensiones del biodigestor ya que solo sería una inversión inicial para la construcción del contenedor, llegando así a ser una mejor opción que adquirir tanques de gas LP, crear una red de tuberías para abastecerse de gas o la práctica de quema de biomasa ya que en esta última se promueva la tala de árboles y la emisión excesiva e innecesaria de gases contaminantes.

1.7 Limitaciones y Alcances

Con el plan de Control de propiedades fisicoquímicas se pretende llegar a un mayor aprovechamiento de producción de Gas Metano CH_4 y reducir las emisiones de dióxido de carbono y dióxido de azufre, de esta forma hacer que sea más redituable el consumo de CH_4 sobre el gas LP. Se toma en cuenta que las posibles problemáticas sea el cambio climático radical en estos últimos años ya que debido a la contaminación excesiva nos es posible determinar con exactitud las variables de temperatura a lo largo del año por lo cual estos cambios de temperatura pueden afectar directamente a las bacteria creadoras de la biodigestión, estos cambios en la temperatura no se pueden corregir con equipos electrónicos, porque de ser así no nos estaríamos adentrando a usar otras fuentes de energía y eso es lo que se pretende delimitar con este proyecto, la práctica de que de biomasa es una opción muy viable para muchas personas, por el bajo costo que produce y que la materia la tienen al alcance por lo cual prefieren seguir con dicho método antes de invertir en alguna otra opción, así que se pretende informar sobre las ventajas que tiene esta fuente de energía renovable sobre otras opciones tanto económicamente como para el medio ambiente.

1.8 Empresa (SISTEMA DE AHORRO ENERGETICO SUSTENTABLE DE XALAPA)

Fundación el 1 de mayo de 2014

Empresa de energía renovable

Ubicación:
Xalapa. Veracruz.

Descripción:

Venta, Instalación y Mantenimiento de equipos de celdas y calentadores solares, para servicio comercial, residencial y rural.

Misión:

Ser la empresa líder en instalación y venta de tecnologías energéticas renovables sustentables para ofrecer las mejores soluciones y lograr que nuestros clientes eliminen o reduzcan los gastos producidos por el consumo de luz y gas.

Actualmente desarrolla proyectos en colaboración con la secretaria de educación pública, con el fin de disminuir gastos a nivel estado dentro de escuelas de tiempo completo.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1 Biomasa

La biomasa y materia viva son la misma cosa. Cuando nos referimos a ella como fuente de energía de lo que hablamos es del conjunto de la materia orgánica, tanto de origen animal como vegetal, que puede ser utilizada con fines energéticos. La biomasa es una fuente de energía renovable, de hecho es la fuente de energía renovable que más aporta en la actualidad a las necesidades de la humanidad. La energía de la biomasa proviene del Sol a través del proceso de la fotosíntesis. Ésta es el proceso por el cual las células vegetales son capaces de formar sustancias orgánicas a partir del CO₂ presente en el aire y de otras sustancias simples, aprovechando para llevar a cabo el proceso la energía procedente del Sol. De las sustancias formadas, que llamamos carbohidratos, se puede extraer energía bien quemándolas directamente, bien convirtiéndolas en un líquido combustible como el alcohol o el aceite, o incluso transformándolas en gas. (Solarizate)

2.2 Biodigestión

La Biodigestión o Digestión Anaeróbica, consiste en un proceso biológico complejo, el cual es desarrollado por microorganismos anaerobios, es decir, que trabajan en ausencia de oxígeno transformando la materia orgánica (residuos domésticos, estiércoles, efluentes industriales, restos de cosechas, etc.) en biogás o gas biológico y se obtiene un efluente biofertilizante o bioabono rico en nutrientes, está constituido por la fracción que no alcanza a fermentarse y por el material agotado. El biogás está compuesto principalmente por metano (CH₄) y anhídrido carbónico (CO₂), conteniendo otros gases en pequeñas concentraciones y vapor de agua. Este proceso se desarrolla de manera natural en el tracto intestinal de los animales, en los pozos negros, el “gas los pantanos”, y en los vertederos de residuos municipales. (rios)

2.3 Etapas de la digestión anaerobia

- 1. Hidrólisis**
- 2. Acidogénesis**
- 3. Acetogénesis**
- 4. Metanogénesis**

La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea. Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas: 1. Hidrólisis 2. Etapa fermentativa o acidogénica 3. Etapa acetogénica 4. Etapa metanogénica.

Etapas Hidrólisis de partículas y moléculas complejas. (Proteínas, carbohidratos y lípidos) que son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga) que serán metabolizados por las bacterias acidogénicas dando lugar, principalmente, a ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios. Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. Por último, los microorganismos metanogénicos producen metano a partir de ácido acético, H₂ y CO₂. Hidrólisis La materia orgánica polimérica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles, que puedan atravesar la pared celular. La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por tanto, es el proceso de hidrólisis el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. La hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos.

La etapa hidrolítica puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido de sólidos. Además, la hidrólisis depende de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulico, de la composición bioquímica del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del tamaño de partículas, del nivel de pH, de la concentración de NH₄⁺ y de la concentración de los productos de la hidrólisis.

Cualquier sustrato se compone de tres tipos básicos de macromoléculas: hidratos de carbono, proteínas y lípidos. Las proteínas constituyen un sustrato muy importante en el proceso de digestión anaeróbica debido a que además de ser fuente de carbono y energía, los aminoácidos derivados de su hidrólisis tienen un elevado valor nutricional. Las proteínas son hidrolizadas en péptidos y aminoácidos por la acción de enzimas proteolíticas llamadas proteasas. Parte de estos aminoácidos son utilizados directamente en la síntesis de nuevo material celular y el resto son degradados a ácidos volátiles, dióxido de carbono, hidrógeno, amonio y sulfuro en posteriores etapas del proceso. La degradación de los lípidos en ambientes anaeróbicos comienza con la ruptura de las grasas por la acción de enzimas hidrolíticas denominadas lipasas produciendo ácidos grasos de cadena larga y glicerol.

La velocidad de degradación de los materiales lignocelulósicos compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, es tan lenta que suele ser la etapa limitante del proceso de hidrólisis. Esto es debido a que la lignina es muy resistente a la degradación por parte de los microorganismos anaeróbicos afectando también a la biodegradabilidad de la celulosa, de la hemicelulosa y de otros hidratos de carbono. Los principales productos de la hidrólisis de la celulosa son celobiosa y glucosa, mientras que la hemicelulosa produce pentosas, hexosas y ácidos urónicos. La tasa de hidrólisis, en general, aumenta con la temperatura. La tasa de hidrólisis depende, también, del tamaño de las partículas, debido fundamentalmente a la disponibilidad de superficie para la adsorción de las enzimas hidrolíticas. Los pretratamientos físico-químicos, cuyo principal efecto es la reducción del tamaño de las partículas, producen un aumento en la tasa de hidrólisis, y si esta fase es la limitante del proceso anaerobio, supone un beneficio para el proceso general, produciendo menores tiempos de retención y tamaños de reactor menores.

Etapas fermentativa o acidogénica. Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H₂) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino

que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema. Este grupo de microorganismos, se compone de bacterias facultativas y anaeróbicas obligadas, colectivamente denominadas bacterias formadoras de ácidos.

Etapa acetogénica. Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H_2 y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato ($CH_3 COO^-$) e hidrógeno (H_2), a través de las bacterias acetogénicas. Representantes de los microorganismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*. Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados homoacetogénicos. Este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotróficamente en presencia de azúcares o compuestos monocarbonados (como mezcla H_2 / CO_2) produciendo como único producto acetato. Al contrario que las bacterias acetogénicas, éstas no producen hidrógeno como resultado de su metabolismo, sino que lo consumen como sustrato. Según se ha estudiado, el resultado neto del metabolismo homoacetogénico permite mantener bajas presiones parciales del hidrógeno y, por tanto, permite la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas. Los principales microorganismos homoacetogénicos que han sido aislados son *Acetobacterium woodii* o *Clostridium aceticum*. A esta altura del proceso, la mayoría de las bacterias anaeróbicas han extraído todo el alimento de la biomasa y, como resultado de su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus células. Estos productos, ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente.

Etapa metanogénica en esta etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas estrictas, actúa sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de biometanización. Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H_2 / CO_2 , formato, metanol y algunas metilaminas. Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio Archaea y tienen características comunes que los diferencian del resto de procariotas. Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del sustrato principal que metabolizan: hidrogenotróficos, que consumen H_2 / CO_2 y fórmico y acetoclásticos, que consumen acetato, metanol y algunas aminas.

Se ha demostrado que un 70% del metano producido en los reactores anaeróbicos se forma a partir de la descarboxilación de ácido acético, a pesar de que, mientras todos los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el H_2 como aceptor de electrones, sólo dos géneros pueden utilizar acetato. Los dos géneros que tienen especies acetotróficas son *Methanosarcina* y *Methanothrix*. El metano restante proviene de los sustratos ácido carbónico, ácido fórmico y metanol. El más importante es el carbónico, el cual es reducido por el hidrógeno, también producido en la etapa anterior.

(Moreno, 2011)

2.4 Condiciones necesarias para la biodigestión.

1. La temperatura es muy importante para la producción de biogás, ya que los microorganismos que realizan la biodigestión disminuyen su actividad fuera de estas temperaturas. La temperatura en la cámara digestiva debe ser entre los 20° C y 60° C; para optimizar el tiempo de producción es deseable mantener una temperatura entre los 30° C y 35° C.
2. El nivel de acidez determina como se desenvuelve la fermentación del material orgánico. El pH del material debe tener un valor entre 6.5 y 7.5. Al estar fuera de este rango neutro la materia orgánica corre el riesgo de pudrirse, ya que se aumenta la actividad relativa de los microorganismos equivocados; esto normalmente produce un olor muy desagradable.
3. El contenedor debe de estar perfectamente sellado para evitar que entre el oxígeno y de esta manera tener un procedimiento anaeróbico adecuado; también evita fugas del biogás.
4. Debe de contener entre el 80% y 90% de humedad.
5. Los materiales más comúnmente utilizados para producir biogás son el estiércol de vaca, caballo, puerco y humana, sin embargo también se pueden otros materiales orgánicos.
6. Para lograr una descomposición eficiente, la materia orgánica debe de ser en tamaños digeribles pues entre más chica más rápida la producción del biogás.
7. Se deberá tener un equilibrio del carbono y el nitrógeno.

Composición	55 – 70% metano (CH ₄) 30 – 45% dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m ⁻³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol ⁻¹

Tabla 1 características generales

2.5 Diagrama esquemático del modelo bdm-riba1000

Partes fundamentales (A) Cámara de fermentación: El espacio donde se almacena la biomasa durante el proceso de descomposición. (B) Cámara de almacén de gas: El espacio donde se acumula el biogás antes de ser extraído. (C) Tubería de carga: La entrada donde se coloca la biomasa. (D) Tubería de descarga: La salida, sirve para retirar los residuos que están gastados y ya no son útiles para el biogás, pero que se pueden utilizar como abono (Bioabono). (E) Ducto Comunicador: Comunica ambas cámaras y permite el paso del gas generado en la fermentación hacia la cámara de almacén de gas. (F) Tubería de salida de gas: La salida del biogás. Se puede conectar directamente a una estufa o se puede transportar por medio de la misma tubería a su lugar de aprovechamiento.

Figura 1

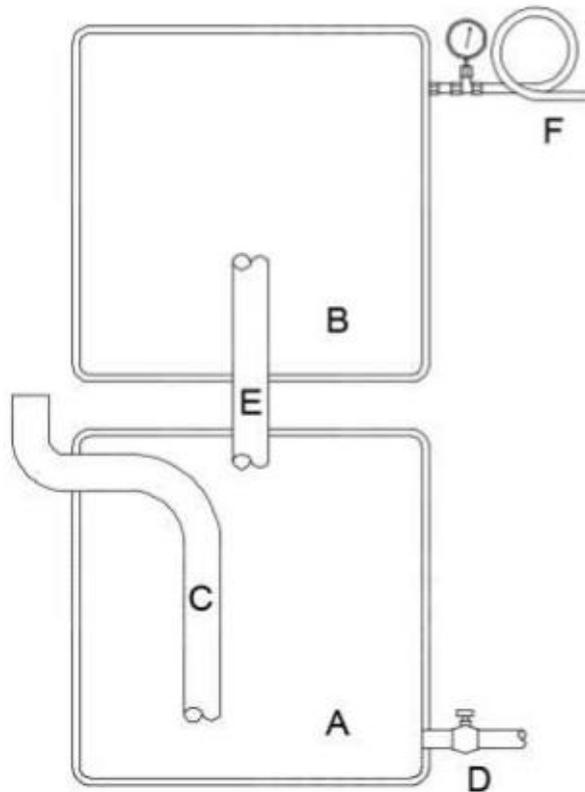


Figura 1 diagrama biodigestor

Operación del Biodigestor

El Biodigestor modular opera con materia orgánica y agua, la materia orgánica deberá ser preferentemente excretas de ganado porcino, el cual tiene una mayor eficiencia en la producción metanogénica. Como podemos apreciar en la tabla siguiente.

Estiércol	Disponibilidad Kg/día*	Relación C/N	Volumen de biogás	
			m ³ /kg húmedo	m ³ /día/año
Bovino (500 kg)	10.00	25:1	0.04	0.400
Porcino (50 kg)	2.25	13:1	0.06	0.135
Aves (2 kg)	0.18	19:1	0.08	0.014
Ovino (32 kg)	1.50	35:1	0.05	0.075
Caprino (50 kg)	2.00	40:1	0.05	0.100
Equino (450 kg)	10.00	50:1	0.04	0.400
Conejo (3 kg)	0.35	13:1	0.06	0.021
Excretas humanas	0.40	3:1	0.06	0.025

Tabla 2 propiedades de biomasa

Lo cual nos arroja que para un óptimo desempeño, debemos utilizar en medida de lo posible excretas porcinas, en un porcentaje de 1 kg de excreta por 3 kgs de agua. En el caso de este biodigestor se deberán utilizar como mínimo 200 kilogramos de materia orgánica y mezclarlas con 600 litros de agua (el agua de preferencia que sea agua tratada o en su defecto agua corriente), para obtener 800 litros volumétricos y tener una tolerancia de 200 litros en espacio libre para la liberación del gas y suba al contenedor superior.

Los materiales que se pueden utilizar como materia orgánica pueden ser excremento animal, desperdicios de frutas y cualquier cosa de producto vegetal que fermente. (Energy, 2017)

CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

Material.-

- Contenedor IBC de 1 metro cúbicos, para la elaboración del Biodigestor se utilizarán dos contenedores, uno cumplirá la función de almacenar la materia prima y se encontrara en la parte baja del equipo el otro por su cuenta será quien almacene el gas producido encontrándose en la parte superior.

Figura 2



Figura 2 Contenedor 1000 litros

- Tubería PVC 6 pulgadas Sanitario
- Tubería flexible Durman 3/8 para gas
- Conexiones 3/8 Durman flare
- Tubería de cobre para gas 1/2
- Junta de goma para unir contenedores 5 ½ x 5 ½
- Lámina Galvanizada calibre 30
- Tapa para tubo PVC
- Manómetro 100 PCI
- Remaches
- Pegamento para PVC
- Resina PP-250
- Soldadura

3.1 Procedimiento

Equipo de Prueba.-

Primeramente, se debe acondicionar el contenedor de 1000 litros que servirá como almacén de la materia prima el cual se encontrará en la parte baja del equipo.

El contenedor mide 1 metro cubico, este cuenta con un soporte que lo rodea de hecho de aluminio, una base de aproximadamente 10 centímetros de altura, el soporte que cubre la parte superior debe ser retirado ya que en esa parte se ubicara el segundo contenedor.

Realizar corte en la parte frontal de 6 pulgadas a una altura de 65 centímetros de altura posicionado en la parte central del contenedor para poder introducir tubería de carga, Nota: este paso solo será realizado en el contenedor que estará en la parte inferior del Biodigestor, el que se encontrara en la parte superior no llevara hecho el corte, pero si uno pequeño a donde se conectara la tubería de salida.

Figura 3



Figura 3 contenedor perforado

Cortar tubería PVC 6 pulgadas que funcionara para cargar el equipo, medida de 130 metros, corte en la punta exterior transversal para facilitar en llenado.

Figura 4 Figura 5



Figura 4 corte de 1,30 metros

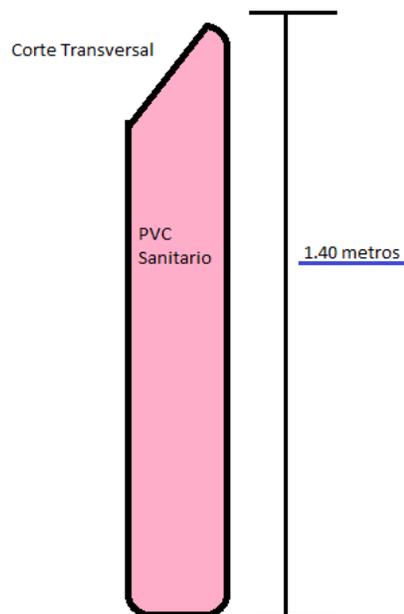


Figura 5 corte transversal a tubería

Unir tubería a contenedor de 1m³ mediante, lijar el area que llavara el pegamento antes de sellar para un mejor sellado. Unir mediante fibra de vidrio.

Figura 6



Figura 6 sellado con resina

Unir contenedores mediante Junta de goma 5 ½ x 5 ½ sellando con pegamento para PVC.

Figura 7 Figura 8



Figura 7 Resistol para PVC

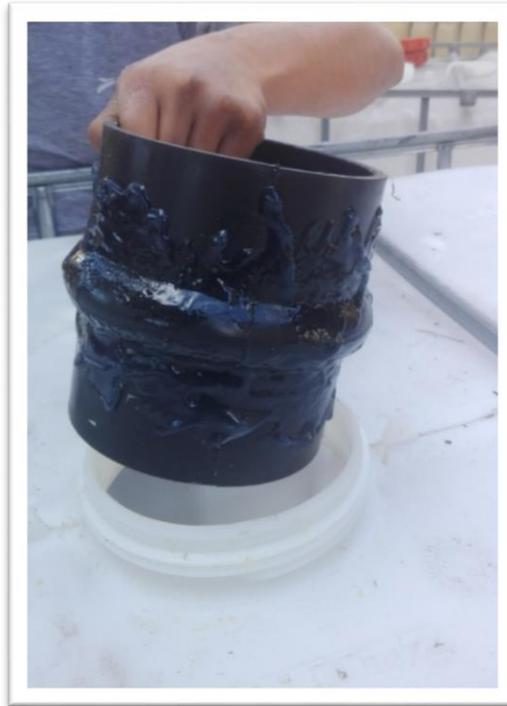


Figura 8 Sello de goma

Se ensamblan los dos contenedores, los dos en la misma dirección.

Figura 9



Figura 9 contenedores ensamblados

Se deben soldar las protecciones de los dos contenedores para que no exista ningun deslissamiento entre contenedores y el sello que los une no se dañe.

Figura 10

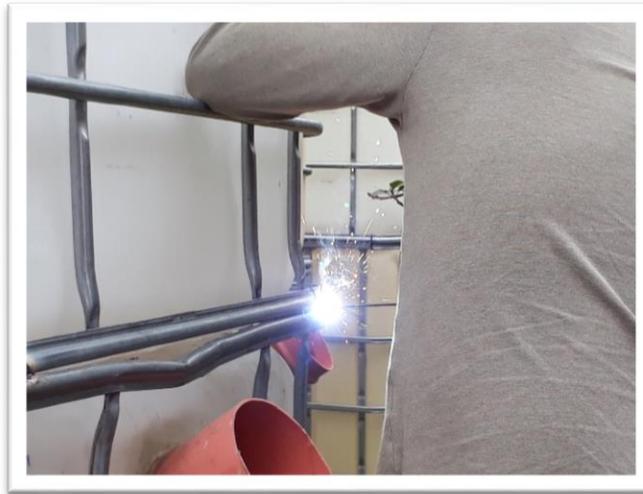


Figura 10 soldaduras de protecciones

Cortar tubería para gas de $\frac{1}{2}$ a 6 centímetros, tres piezas para cada biodigestor.

Figura 11



Figura 11 tuberías de cobre

Soldar tubería y conexiones mediante soldadura de estaño.

Figura 12



Figura 12 tubería en forma "T"

Realizar pruebas de presión para verificar que no existan fugas.

Figura 13 Figura 14



Figura 13 prueba de presión



Figura 14 sello de goma

Cortar lámina galvanizada para forrar el contorno del Biodigestor, para que de esta forma se pueda pintar de color negro, esto ayudara a que el equipo aproveche mayormente la temperatura del sol.

Figura 15



Figura 15 lámina galvanizada

Unir la lámina al equipo mediante remaches, cortar en la lámina las partes que deben ir expuestas del Biodigestor.

Figura 16



Figura 16 Biodigestor

Se debe pintar la lámina de color negro esto como medida para controlar las propiedades físicas adecuadas. Nos permitirá mantener por mayor tiempo la temperatura adecuada.

Figura 17



Figura 17 pintura negra

El paso final para el ensamble del equipo se debe conectar el manómetro y las tuberías que alimentaran al quemador correspondiente, para esto se necesitara la conexión que creamos en forma de T, una de sus parte se conectara al Biodigestor previamente avellanado, en la parte superior se conectara el manómetro y en la última se conectara un adaptador para la Tubería flexible Durman 3/8 la cual a su vez ira dirigida a la estufa, la conexión en no será directa al quemador, se utilizara un conector que nos permita utilizar el Biodigestor o el tanque de gas según nos convenga, con el uso de llaves de paso.

Nota: Importante no se deben usar los dos al mismo tiempo, cerrar llave de paso de biodigestor, antes de habilitar tanque de gas.

Figura 18

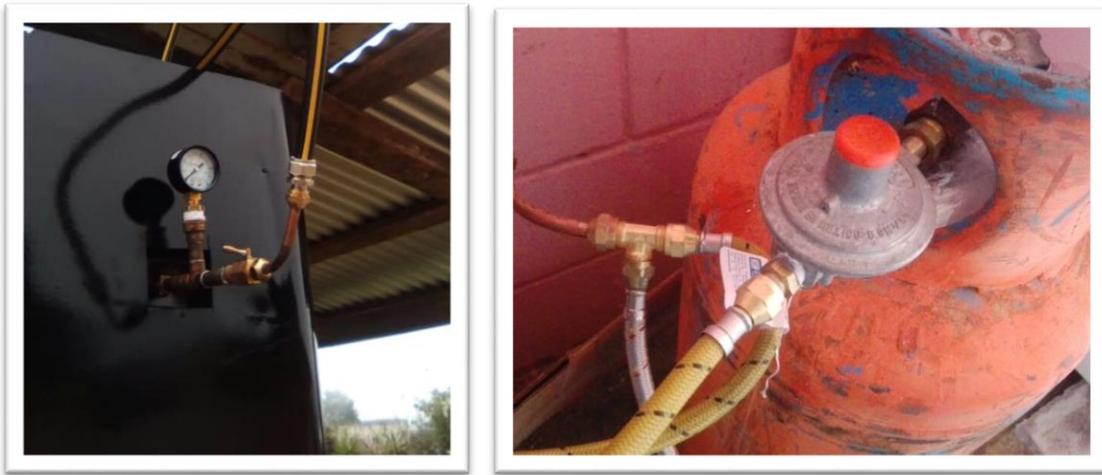


Figura 18 conexiones de gas (manómetro)

Se creó una tabla con el mantenimiento adecuado que se debe ejecutar. Esto permitirá que las propiedades físico químicas se mantengan dentro de un rango adecuado y así la producción de biogás no se encuentre afectada. *Tabla 3*

Tarea	Frecuencia	Material	Información
Agregar materia prima	Una vez cada dos semanas	Excremento animal, agua y cubeta.	Esta debe ser por recomendación una tercera parte de una cubeta y se debe agregar con agua que esta será dos terceras partes de la cubeta.
Mezclar la materia prima	Una vez por semana	Batidor de PVC	Con el batidor de PVC, mover lentamente la materia en el interior por un tiempo aproximado de 2 minutos
Drenar parte de Biodigestor	Una vez cada dos semanas	cubeta	Esto se realizara a la par con el agregado de materia ya que evitaremos el exceso de materia o pérdida de ella.
Medir PH	Una vez cada mes	Medidor de PH	Esta debe estar dentro del rango de 6.5 y 7.5 lo cual se considera aceptable, de no estar dentro de este rango se deberá corregir drenando y agregando más cantidad de biomasa. También se recomienda agregar biomasa alcalina para regular el PH.
Pintar el Biodigestor	La frecuencia va a depender del estado en el que se encuentre la pintura	Pintura negra (compresor)	La pintura adecuada será de color negro ya que esta nos servirá para mantener de mejor manera la temperatura.
Mantenimiento a tubería	Una vez por mes	Jabón liquido	Esto servirá para detectar fugas en la tubería, en el caso de detectar alguna inmediatamente cambiar la pieza dañada.
Drenar completamente Biodigestor	Una vez cada año	Cubeta	Se deberá vaciar el contenedor en su totalidad para que los lodos (bioabono) que hayan quedado por mucho tiempo dentro del Biodigestor no afecten el proceso.

Tabla 3 Tareas a realizar

Se propuso que para poder mezclar la materia dentro del equipo se creara un batidor de PVC el cual contaría con de tres piezas, que le permitirá ser introducido en el equipo sin ningún problema y estando dentro poder ser expandido para que de esta forma abarque una mayor área permitiendo así facilitar la tarea.

Figura 19

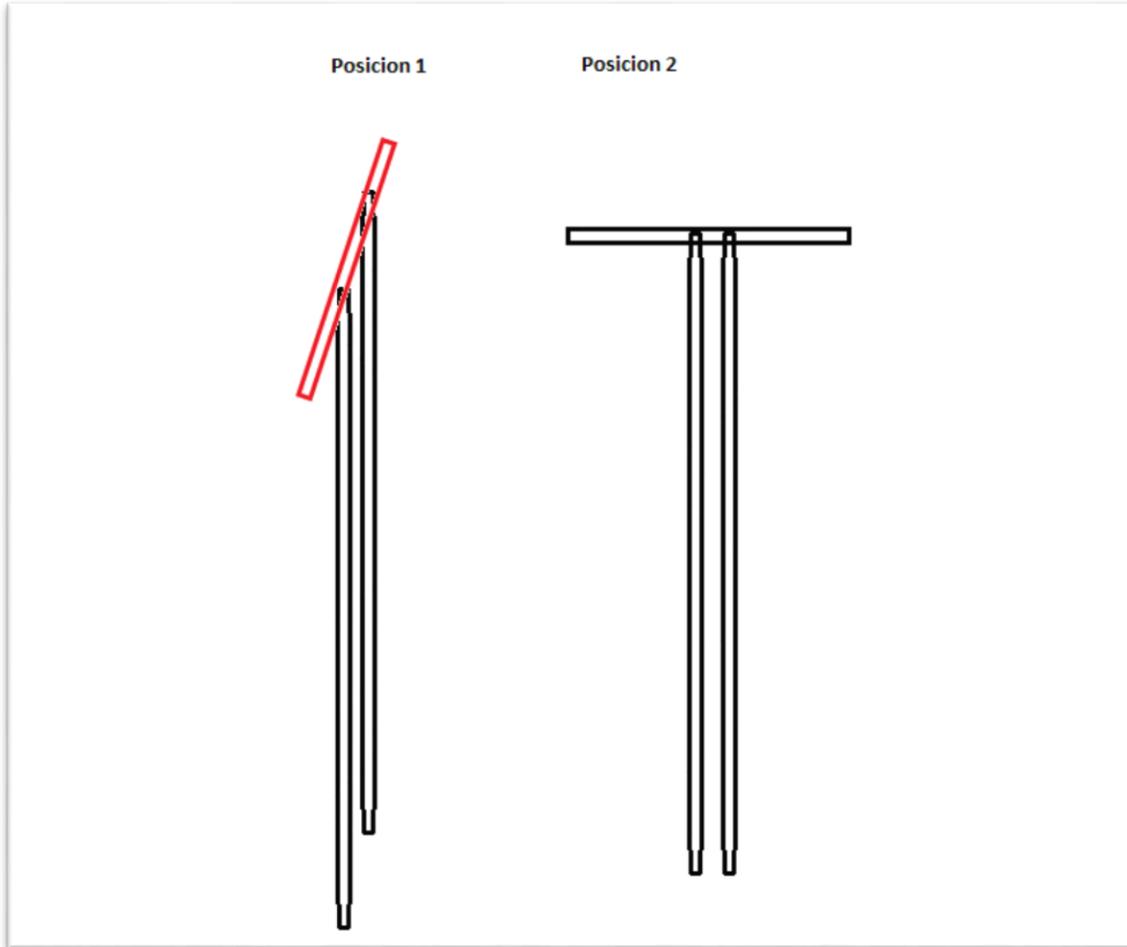


Figura 19 Batidor de PVC

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1 Resultados

El equipo de prueba fue creado con éxito en el cual se realizaron pruebas de presión verificando así que el sellado fue el correcto. A este se le agregó materia prima (excremento de Bobino).

Figura 20



figura 20 equipo de prueba

Dos semanas después del agregar la materia se midió el PH el cual marco (6.9) adecuado para los procesos de biodigestión, se comprobó que agregando biomasa del tipo alcalino se puede controlar esta variable y se contempló que gracias a la capa de pintura negra la temperatura se mantenía por mayor tiempo. Este mismo día se realizó una prueba un poco precipitada al gas en la cual tuvo una reacción de combustión exitosa de acuerdo a lo esperado. Se debe mencionar que la producción de gas estimada no fue alcanzada pero de igual manera fue aceptable ya que cumplía con el propósito.

Se desarrolló un cronograma con los tiempos adecuados para dichos estudios, lo cual nos permitirá corregir a tiempo cambios fisicoquímicos inadecuados. En este mismo se agregó mantenimientos para el Biodigestor (drenar lodos, purgar contenedor, análisis de tuberías).

No se pudo detectar cuáles son los factores que pueden alterar en el cambio de PH y el desequilibrio de hidrogeno y carbono. En el caso del PH solo se consideró los alimentos con alto nivel de acides que podían cambiar el pH si se agregaban directamente al Biodigestor.

Se elaboró una herramienta (Batidor de PVC) el cual podría acceder al interior del equipo y así poder mezclar la materia con mayor facilidad.

4.2 Trabajos Futuros

- Estudiar alimentación de los animales y determinar que productos no son adecuados para una producción de biomasa correcta.
- Detectar factores que alteran las propiedades químicas de la biomasa dentro del biodigestor.

4.3 Recomendaciones

Se considera que se tome en cuenta las dimensiones del equipo referente a las necesidades del lugar en donde se instalara (cantidad de gas consumida en un mes), detectar si existe en abundancia la materia en dicho lugar ya que considerando que esta se centre donde no se tenga acceso a ella será muy difícil poder mantener la producción de gas.

ANEXOS

Tabla 1 características generales	11
Figura 1.....	12
Figura 1 diagrama biodigestor	12
Tabla 2 propiedades de biomasa	13
Figura 2.....	14
Figura 2 Contenedor 1000 litros	14
Figura 3.....	15
Figura 3 contenedor perforado.....	15
Figura 4 Figura 5.....	16
Figura 4 corte de 1,30 metros	16
Figura 5 corte transversal a tubería	16
Figura 6.....	17
Figura 6 sellado con resina.....	17
Figura 7 Figura 8.....	17
Figura 7 Resistol para PVC.....	17
Figura 8 Sello de goma	18
Figura 9.....	18
Figura 9 contenedores ensamblados	18
Figura 10.....	19
Figura 10 soldaduras de protecciones	19
Figura 11.....	19
Figura 11 tuberías de cobre	19
Figura 12.....	20
Figura 12 tubería en forma "T"	20
Figura 13 Figura 14.....	20
Figura 13 prueba de presión	20
Figura 14 sello de goma	21
Figura 15.....	21
Figura 15 lámina galvanizada	21
Figura 16.....	22
Figura 16 Biodigestor	22
Figura 17.....	22
Figura 17 pintura negra.....	22
Figura 18.....	23
Figura 18 conexiones de gas (manómetro).....	23
Tabla 3 Tareas a relajar.....	24
Figura 19.....	25
Figura 19 Batidor de PVC.....	25
Figura 20.....	26
figura 20 equipo de prueba.....	26

BIBLIOGRAFÍA

Energy, G. S. (2017). *Biodigestor*. Xalapa, Veracruz .

Moreno, P. M. (2011). *Manual de Biogas*. Santiago de Chile.

rios, U. A. (s.f.). <http://fcyt.uader.edu.ar>.

Solarizate. (s.f.). *La Biomasa*.

Zúñiga, I. C. (2007). *Biodigestores*. Hidalgo.