



**INSTITUTO LATINOAMERICANO DE
TECNOLOGÍA, INFRAESTRUCTURA Y
TERRITÓRIO (ILATIT)**

INGENIERIA EN ENERGIA

MANUAL CONSTRUCTIVO PARA BIODIGESTOR EXPERIMENTAL

ERNESTO RODRIGO BAUTE ESPÍNDOLA

Foz do Iguaçu

2018



**INSTITUTO LATINOAMERICANO DE
TECNOLOGÍA, INFRAESTRUCTURA Y
TERRITÓRIO (ILATIT)**

INGENIERIA EN ENERGÍA

MANUAL CONSTRUCTIVO PARA BIODIGESTOR EXPERIMENTAL

ERNESTO RODRIGO BAUTE ESPÍNDOLA

Trabajo de Conclusión de curso presentado al Instituto Latinoamericano de Tecnología, Infraestructura y Territorio de la Universidad Federal de la Integración Latinoamericana, como requisito para obtener el título de Licenciado en Ingeniería en Energía.

Orientadora: Profa. Dra. Andréia Cristina Furtado

Foz do Iguaçu

2018

ERNESTO RODRIGO BAUTE ESPÍNDOLA

MANUAL CONSTRUCTIVO PARA BIODIGESTOR EXPERIMENTAL

Trabajo de Conclusión de curso presentado al Instituto Latinoamericano de Tecnología, Infraestructura y Territorio de la Universidad Federal de la Integración Latinoamericana, como requisito para obtener el título de Licenciado en Ingeniería en Energía.

BANCA EXAMINADORA

Profa: Dra. Andréia Cristina Furtado
Orientadora - UNILA

Prof. Dr. Jiam Pires Frigo
UNILA

Colaborador. Me. Ricardo Muller
CIBiogas-ER

Foz do Iguaçu, 20 de Júlio de 2018.

AGRADECIMENTOS

En primero lugar, agradezco a mi familia por todo el apoyo a lo largo de todos estos años, siendo posible haber realizado esta aventura gracias al respaldo incondicional de mis amados padres y hermano.

A todo el pueblo Brasileiro que me brindo una educación universitaria de primera calidad y un cariño y hospitalidad gigantes como Brasil.

A Ana Flavia da Silva y a toda su familia por la ayuda, amor y protección que me brindaron todos estos años.

A los compañeros con los cuales compartí todos estos años, especialmente a Benhur, Maraga y Nico por haberme aguantado la cabeza y ayudado en todo momento.

A Denis y Kelly por haber sido parte de la construcción del biodigestor y por su incontable ayuda, grandes compañeros de lucha!

A todos los profesores, técnicos y demás funcionarios de la UNILA que me encaminaron por este gran camino recorrido, muchas gracias por los conocimientos transmitidos y por todo el apoyo que brindaron, especialmente a Paula y Eleandro.

A la profesora Andréia Cristina Furtado por haberme no solo orientado en el TCC, sino haberme orientado toda la carrera.

A la COAAFI (Cooperativa dos Agentes Ambientais de Foz do Iguaçu) por el apoyo a los proyectos de IC que fueron pilares para este trabajo.

Al CIBiogas-ER por la gran experiencia que me permitió realizar la pasantía la cual me nutrió tanto de conocimiento práctico en el área de biocombustibles como de experiencia laborar.

*Nuestros padres nos aman porque somos sus hijos, es un hecho inalterable. En los momentos de suceso, eso puede parecer irrelevante, pero en las ocasiones de fracaso, ofrecen un consuelo y una seguridad que no se encuentran en cualquier otro lugar. **Bertrand Russell***

ESPÍNDOLA, Ernesto Rodrigo. **Manual Constructivo para Biodigestor Experimental**. 2018. 44 paginas. Tesis Final (Ingeniería en Energía) – Universidad Federal de la Integración Latinoamericana, Foz do Iguaçu, 2018.

RESUMEN

Este trabajo busca la obtención de un equipamiento capaz de permitir la generación de biogás a partir de una gama de sustratos orgánicos y permitir el estudio de este tipo de tecnologías, además de ayudar al aprendizaje sobre estos equipamientos y como deben ser usadas tanto para educación como para investigación. Para la construcción de un biodigestor experimental, se inició con la búsqueda bibliográfica para el diseño inicial del mismo, se buscó trabajos con un énfasis similar los cuales permitieron tener una idea más elaborada sobre el producto final a ser desarrollado. Luego de idealizar el prototipo inicial, se adquirieron las piezas de mayor importancia tecnológica (controlador de temperatura) las cuales son fundamentales para la construcción del biodigestor, teniendo estas piezas, se dispuso de la búsqueda del material faltante por medio de la recuperación de materiales en desuso. Una vez con todo el material, se comenzó la etapa del armado del biodigestor iniciando las modificaciones en el casco de heladera recuperado. Con las piezas de PVC adquiridas se construyeron los reactores donde será producido el biogás y los gasómetros donde será almacenado para su posterior extracción. Para la construcción del gasoducto, se elaboró un sistema compuesto por caños de gas de 3/8" con sus respectivas conexiones, permitiendo la conexión entre los reactores y los gasómetros que se encuentran dentro del depósito de gas (donde se encuentran los gasómetros). La climatización dentro del biodigestor fue realizada por medio de una resistencia eléctrica de 500W encargada de suministrar el calor necesario para aumentar la temperatura dentro del biodigestor a una temperatura óptima para las bacterias anaerobias, con un controlador de temperatura, se regula la temperatura deseada dentro del biodigestor de manera automática por medio del uso de una sonda de temperatura dentro del mismo. Con toda la estructura del biodigestor y terminadas las adaptaciones necesarias, se realizó la chapa y pintura con un intuito de perfeccionamiento de la parte visual, siendo también usado para la protección metálica. El resultado de este proyecto fue la culminación del biodigestor, a partir de esta culminación, se inició la elaboración de un manual práctico para la construcción de biodigestores experimentales que puedan ser usado en instituciones de enseñanza, también se busca que pueda ser usado por la universidad o diferentes instituciones de enseñanza que estén relacionadas a la investigación sobre biogás y biofertilizantes siendo una herramienta importante para la investigación.

Palabras Claves: Biogás, biofertilizantes, reactor de bancada, sustrato orgánicos, gasómetros, biodigestor.

ESPÍNDOLA, Ernesto Rodrigo. **Manual Construtivo para Biodigestor Experimental**. 2018. 44 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Energia) – Universidade Federal da Integração Latino-americana, Foz do Iguaçu, 2018.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a construção de um equipamento para geração de biogás a partir de uma variedade de substratos orgânicos e permitir o estudo deste tipo de tecnologia, além de auxiliar na aprendizagem sobre este tipo de equipamento e como ele deve ser utilizado tanto para educação quanto na pesquisa. Para a construção de um biodigestor experimental, o projeto inicial foi desenvolvido com base em uma extensa revisão bibliográfica do tema. Buscaram-se trabalhos com ênfase semelhante que permitissem ter uma ideia mais elaborada sobre o produto final a ser desenvolvido. Depois de idealizar o protótipo inicial, foram adquiridas peças de maior importância tecnológica (controlador de temperatura), fundamentais para a construção do biodigestor, bem como materiais recicláveis para compor o corpo central do biodigestor. Uma vez com todo o material, iniciou-se o estágio de montagem do biodigestor, com as modificações no corpo do biodigestor. Com as peças de PVC adquiridas, foram construídos os reatores onde será produzido o biogás e os gasômetros, para o armazenamento do gás. Para a construção do gasoduto, foi elaborado um sistema composto de tubos de gás de 3/8 "com suas respectivas conexões, permitindo a conexão entre os reatores e os gasômetros que estão dentro do tanque de gás (onde estão localizados os gasômetros). O aquecimento do biodigestor foi feito por meio de uma resistência elétrica de 500W responsável pelo fornecimento de calor necessário para aumentar a temperatura dentro do digestor a uma temperatura ideal para bactérias anaeróbicas, com um controlador de temperatura. A temperatura ideal é regulada dentro do biodigestor automaticamente através do uso de uma sonda de temperatura dentro dela. Uma vez finalizada a construção do biodigestor, foi elaborado um manual de construção que pode ser utilizado em instituições de ensino, sendo também possível sua utilização pela universidade ou diferentes instituições educacionais relacionadas à pesquisa em biogás e biofertilizantes, sendo uma importante ferramenta de pesquisa.

Palavras Chaves: Biogás, biofertilizantes, reator de bancada, substrato orgânicos, gasômetros, biodigestor.

ESPÍNDOLA, Ernesto Rodrigo. **Constructive Manual for Experimental Biodigester**. 2018. 44 pages. Final Thesis (Energy Engineering) – Federal University of Latin American Integration, Foz do Iguaçu, 2018.

ABSTRACT

The objective of this work is the construction of equipment for the generation of biogas from a variety of organic substrates and allows the study of this type of technology, as well as help in learning about this type of equipment and how it should be used for both education and research. For the construction of an experimental biodigester, the initial design was developed based on an extensive bibliographical review of the theme. It was sought work with similar emphasis that allowed having a more elaborate idea about the final product to be developed. After idealizing the initial prototype, pieces of greater technological importance (temperature controller) were acquired, fundamental for the construction of the biodigester, as well as recyclable materials to compose the central body of the biodigester. Once with all the material, the stage of assembling the biodigester began, initiating the modifications in the recovered refrigerator hull. With the purchased PVC parts, the reactors were built where biogas and gasometers will be produced for gas storage. For the construction of the pipeline, a system consisting of 3/8 "gas pipes with their respective connections was developed, allowing the connection between the reactors and the gas meters that are inside the gas tank (where the gasometers are located). Heating of the biodigester was done by means of a 500W electrical resistor responsible for the supply of heat needed to raise the temperature inside the digester to an ideal temperature for anaerobic bacteria with a temperature controller. The ideal temperature is regulated within the biodigester automatically through of the use of a temperature probe inside it. After completing the construction of the biodigester, a manual of construction was elaborated that can be used in educational institutions, being also possible its use by the university or different educational institutions related to the research in biogas and biofertilizers, being an important tool for research.

Key Words: Biogas, bio-fertilizers, batch reactor, organic substrates, gasometers, biodigester.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Estructura interna del biodigestor con los orificios para la disposición de los caños de gas.....	22
Figura 2 - Perfil de Aluminio pronto para instalación.....	22
Figura 3 - Agujeros para los caños de gas.....	23
Figura 4 - Tapa plástica de ingreso con tornillos.....	24
Figura 5 - Colocación de los caños de gas e cables de alimentación.....	24
Figura 6 - Conexión de prueba del biodigestor.	25
Figura 7 - Corte de los caños de PVC.....	26
Figura 8 - Sellado de las CAP en la base de los reactores.....	26
Figura 9 - Realización del agujero para introducción del inyector.....	27
Figura 10 - Modificación de los Inyectores.....	27
Figura 11 - Colocación de teflón en el inyector.	28
Figura 12 - CAP con el inyector en su posición.	28
Figura 13 - Masa epoxi entre la CAP e inyector.....	29
Figura 14 - Reactor de PVC completo.	29
Figura 15 - Resistencia Blindada 500W.....	30
Figura 16 - Ladrillo para soporte de resistencia.	31
Figura 17 - Resistencia fijada al cuerpo del biodigestor.....	31
Figura 18 - Controlador de temperatura.....	32
Figura 19 - Instalación del ventilador.	32
Figura 20 - Instalación del portalámparas e interruptor.....	33
Figura 21 - Electrodo en posición.	33
Figura 22 - Micro ventilador axial.....	34
Figura 23 - Instalación del cuadro central.	34
Figura 24 - Cuadro central instalado.....	35
Figura 25 - Esquema de conexión del MT-512Ri 2HP.....	35
Figura 26 - Tés para la extracción de biogás del sistema reactor-gasómetro.....	36
Figura 27 - Canilla de gas para extracción de biogás.	37
Figura 28 - Construcción del soporte metálico.....	37
Figura 29 - Gasómetros "modelando" dentro del depósito.....	38
Figura 30 - Gasómetros en sus respectivos lugares.....	39
Figura 31 - Gasómetros con las trabas instaladas.....	39

Figura 32 - Biodigestor con deposito de gas terminados.	40
Figura 33 - Vista frente en diseño técnico.....	41
Figura 34 - Vista frente en diseño técnico.....	41

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Elementos que componen la instalación eléctrica del biodigestor.....	20
Tabla 2 - Materiales para sistema reactor-gasómetro.	20

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ILATIT	Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território.
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UNILA	Universidade Federal da Integração Latino-Americana
PVC	Policloruro de Vinilo
NO	Normal Abierto
NC	Normal Cerrado
PTI	Parque Tecnológico de Itaipu

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	13
2. JUSTIFICATIVA	14
3. OBJETIVOS	15
3.1.OBJETIVO PRINCIPAL.....	15
3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4. FUNDAMENTO TEÓRICO	16
4.1.DIGESTION ANAERÓBIA.....	16
4.1.1. Hidrólisis.....	16
4.1.2. Acidogénesis.....	17
4.1.3. Acetogénesis.....	17
4.1.4. Metanogénesis.....	17
4.2.TIPO DE BIODIGESTORES	18
4.2.1. Continuos	18
4.2.2. Descontinuos “Batch”	18
5. CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR	19
5.1.PROYECTO INICIAL.....	19
5.2.MATERIALES Y MÉTODOS	20
5.2.1. Parte eléctrica de control y potencia	20
5.2.2. Reactores y recolección de Biogás	20
5.3.PREPARACIÓN DEL CUERPO PRINCIPAL DEL BIODIGESTOR.....	21
5.4.CONSTRUCCIÓN DE LOS REACTORES-GASÓMETROS	25
5.5.SISTEMA DE CALEFACCIÓN DEL BIODIGESTOR.....	30
5.6.EXTRACCIÓN DEL BIOGÁS	36
5.7.DEPOSITO DE BIOGAS	37
6. DISEÑO DIGITAL DEL BIODIGESTOR	41

7. CONCLUSIONES	42
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA	43

1. INTRODUCCIÓN

Los combustibles fósiles como petróleo y gas natural son las principales fuentes energéticas en Brasil y en el mundo, pero no son renovables, es decir, un día esa fuente energética puede cesar. Además de ser fuentes energéticas finitas causan diversos trastornos al medio ambiente como contaminación ambiental y la destrucción de la capa de ozono a través de su quema (SANTOS e LIMA, 2016).

En Brasil, los biocombustibles inician a partir de pruebas realizadas entre los años 1905 y 1925 por medio del uso de alcohol combustible. Por medio de medidas impuestas en el año 1931, Brasil comienza a utilizar un 5% de alcohol en la gasolina que importa del exterior. Nuevamente, en el año 1938 por medio del decreto n°737 establece la obligatoriedad del 5% de alcohol también para la gasolina fabricada en el país (PETROBRAS, 2007).

En la década del 70 comienza la crisis del petróleo, donde la formación de un fuerte cártel por las naciones que participaban en la organización de los países exportadores de petróleo elevó drásticamente el precio del petróleo crudo en el mercado internacional (KARLSSON, KONRAD, *et al.*, 2014). En frente de la crisis del petróleo, Brasil se mostraba extremadamente dependiente, ya que el 80% del petróleo crudo consumido en el país era de fuente externa.

En el año 1975, Brasil inaugura el *Programa Nacional do Alcool* (Proálcool) siendo este el mayor programa de aprovechamiento energético a partir de biomasa en el mundo (PETROBRAS, 2007).

De acuerdo con (KRETZER, NAGAOKA, *et al.*, 2015), actualmente se realizan esfuerzos para la implementación de fuentes renovables de las cuales no se agotan y no contaminan la atmósfera. Esas fuentes renovables provienen del agua, sol, viento, movimiento de las olas, geotérmica y la biomasa. Brasil presenta innumerables aspectos favorables para la utilización de la biomasa (como leña, biodiesel, biogás) debido a su ubicación, clima y extensión territorial (SANTOS, JUNGER e SOARES, 2014).

El biogás es una de las fuentes más prometedoras de energía, presentando características distintas en función de su origen (KRETZER, NAGAOKA, *et al.*, 2015). Ante lo expuesto anteriormente se puede considerar el estudio del biogás un tema prometedor con inimaginables investigaciones a realizar.

2. JUSTIFICATIVA

Este trabajo busca brindar a la Universidad Federal de la Integración Latinoamericana un equipamiento en el que se pueda generar un biocombustible de primera generación a partir de residuos orgánicos. Para los días de hoy, es importante que la universidad cuente con infraestructura donde se puedan realizar pruebas sobre la generación de biogás a partir de diferentes sustratos y como esta generación de biogás se modifica según las proporciones y mezclas de diferentes sustratos orgánicos que se pueden realizar.

Estudios relacionados al tema del biogás no se limitan apenas a la producción de biogás. El biofertilizante generado en el proceso de digestión anaerobia, puede ser como en el caso del biogás, un objeto de estudio, visto que sus características como fertilizante pueden substituir la utilización de fertilizantes químicos. Otras líneas de estudio también pueden ser desarrolladas, como el proceso de purificación de gas, importante proceso para la generación de energía eléctrica, térmica o misma su utilización como combustible vehicular en substitución a combustibles provenientes del petróleo.

La promoción de este tipo de tecnologías en las escuelas y centros universitarios puede atraer la atención de estudiantes en centros urbanos, generando así tener una aproximación con este tipo de tecnologías que generalmente se encuentran en zonas rurales, alejadas de las poblaciones citadinas.

Es importante resaltar la importancia que este tipo de dispositivos puede traer a una casa de estudio, principalmente cuando la comunidad académica se vincula con la construcción del biodigestor, aprendiendo sobre la ingeniería envuelta en estos dispositivos.

Este trabajo por tanto busca ser un incentivo practico para la realización de investigaciones referentes al tratamiento de residuos orgánicos, especialmente en los subproductos que son el biogás y biofertilizante y también generar con este documento un manual inicial de construcción de biodigestores experimentales que permitan la reproducción de este equipamiento en otros centros educativos o centros de investigaciones.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Construcción de un Biodigestor experimental con el fin del estudio sobre el biogás y biofertilizante.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaboración de un manual constructivo de un biodigestor experimental modelo tipo *“Batch”*.
- Emplear materiales reciclables y de bajo costo en la construcción del reactor.
- Promover y diseminar el estudio sobre biogás y biofertilizantes por medio de artículo científico y con el manual constructivo del biodigestor.
- Crear un vínculo con los demás proyectos y entidades que tengan en común el estudio del Biogás, principalmente en la región del Oeste de Paraná.

4. FUNDAMENTO TEÓRICO

4.1. DIGESTION ANAERÓBIA

La digestión anaerobia de la materia orgánica es un proceso bioquímico en el cual diferentes microorganismos, en la ausencia de oxígeno producen el biogás, una mezcla gaseosa compuesta por metano (CH_4) entre 60-70%, dióxido de carbono (CO_2) 30-40% y una menor cantidad de otros gases. El valor energético de este biocombustible ronda los 20-25MJ/m³ (PINEDA, 2011).

Un biodigestor es un recipiente cerrado de cualquier forma y tamaño donde se acumula materia orgánica con agua, descomponiéndose en un ambiente libre de oxígeno para generar biogás. La estructura final es en función de las variables ambientales, proceso, etc (ZÚÑIGA, 2007).

La materia prima que es usada en biodigestores es proveniente en su mayoría por la actividad humana en el campo (residuos agroindustriales). En las ciudades, un crecimiento anual del 5% en la emisión de material orgánico generados en Brasil y con un porcentaje del 60% para material orgánico (C, H, O, N) da un excelente potencial energético en rellenos sanitarios (CORTEZ, LORA e GOMEZ, 2008).

Después de terminado el proceso de biodigestión, se obtiene un producto de alta calidad que presenta un porcentaje en media de 1,8% de nitrógeno, 8,4% de fósforo y 0,7% de potasio. Este material puede ser usado como biofertilizante en la tierra, devolviendo la humedad, mejora las propiedades físicas y químicas, mejora la actividad bacteriana. También posee un pH en torno de 7,9 dando una corrección en terrenos con presencia de alta acidez. Este biofertilizante puede ser aplicado directamente (dependiendo del origen de la biomasa) en la tierra como producto final (MORENO, 2011)

Según (MORENO, 2011) en la digestión anaerobia de la materia orgánica, se pueden identificar 4 fases distintas para la formación del metano, que son la Hidrólisis, Acidogénesis, Acetogénesis y Metanogénesis.

4.1.1. Hidrólisis

En esta etapa las bacterias hidrolíticas realizan la transformación de polímeros orgánicos más pesados en monómeros de menor peso molecular. Después de formar los monómeros, estos son reducidos por medio de enzimas y bacterias formando acetato, hidrógeno, dióxido de carbono, etc (MORENO, 2011).

4.1.2. Acidogénesis

En esta segunda etapa, los productos de la hidrólisis son transformados gracias a un proceso bioquímico donde la materia orgánica oriunda de la hidrólisis es transformada en ácidos grasos. Estas bacterias son productoras de hidrógeno H^+ , gas carbónico, ácido láctico, alcoholes, etc.

Esta etapa no es realizada totalmente por bacterias anaerobias, estas bacterias garantizan la atmosfera libre de oxígeno para el proceso de metanogénesis (RIZZONI, TOBIAS, *et al.*, 2012).

4.1.3. Acetogénesis

En esta etapa se convierten los productos obtenidos en la acidogénesis por medio de bacterias acetogénicas en sustratos para la formación de gas metano y dióxido de carbono, estos sustratos son ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono (RIZZONI, TOBIAS, *et al.*, 2012).

4.1.4. Metanogénesis

Esta etapa es la culminación de la degradación de la materia orgánica en biogás. A diferencia de los 3 procesos anteriores, este último se divide en 2 grupos de bacterias, las hidrogenótroficas y las acetotróficas.

Las Hidrogenótroficas son las responsables de producir metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono, mientras que las Acetotróficas son las que producen metano a partir del ácido acético (MORENO, 2011).

4.2. TIPO DE BIODIGESTORES

Los tipos de biodigestores se dividen generalmente según su tipo de funcionamiento. Existen dos grandes grupos en los que se dividen los biodigestores con funcionamiento continuo y los discontinuos o también llamados tipo “Batch” (LOPEZ e BORZACCONI, 2009)

4.2.1. Continuos

En los biodigestores continuos, el sustrato orgánico es continuamente administrado al biodigestor de forma que si la administración de sustrato se detiene, también se ve comprometida la producción de biogás. Este tipo de biodigestores es usado en gran escala cuando se busca la generación continua de biogás para algún sistema productivo. Los biodigestores continuos más comunes son los modelo Indiano, Chino y Canadiense (LUSTOSA e MEDEIROS, 2014)

4.2.2. Descontinuos “Batch”

En este tipo de sistema el sustrato orgánico es inserido dentro de un reactor cerrado sin presencia de oxígeno para que sea realizada la fermentación anaeróbica. El gas que se produce se acumula mismo dentro del biodigestor o con la ayuda de un gasómetro acoplado directamente al biodigestor. Terminada la generación de biogás, el biodigestor es abierto para su limpieza y retirada del biofertilizante. Después de limpiar el biodigestor, este está listo para una nueva carga orgánica (LUSTOSA e MEDEIROS, 2014).

5. CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR

Biodigestores experimentales permiten estudiar las variables que afectan directamente la acción de las bacterias que participan del proceso de biodigestión anaerobia, como la temperatura, el pH, la relación de nutrientes, bien como el potencial de generación de gas para diferentes sustratos.

El modelo de biodigestor con el uso de reactores tipo “Batch” fue escogido con el objetivo de analizar la biodigestión anaerobia empleando pequeñas cantidad de sustancias, para posterior análisis de la composición del biogás (LOPEZ e BORZACCONI, 2009). Con este tipo de reactores, después de pasar el tiempo de generación para obtención del biogás, se puede realizar también el estudio del biofertilizante generado.

En este proyecto se buscó tener especial atención al aspecto estético, protección eléctrica, implementación de pases de gas para un mejor control del caudal de salida de biogás, etc. Estas características son primordiales para la construcción del biodigestor ya que influyen tanto en la eficiencia final del biodigestor, como también la seguridad del personal que manipula estos dispositivos.

5.1. PROYECTO INICIAL

La idea original fue idealizada en una visita técnica ocurrida en la ciudad de Palotina, en el estado de Paraná. En esta ciudad se encuentra la UFPR campus Palotina donde se encuentra el curso de Ingeniería de Energías Renovables¹. La visita fue en el sector de biocombustible de la UFPR donde poseen una planta de etanol, planta de biodiesel y biodigestores para la producción de biogás.

Esta visita a la UFPR “Palotina” se debió al proyecto de iniciación científica “UNILA Y COAAFI, juntos en la fabricación de Biodiesel” donde se dio estudio a la transesterificación de aceites usados provenientes del uso en hogares e comercios.

Esta visita permitió obtener una idea inicial para la realización de este proyecto y de cual tendría que ser el camino a seguir para la construcción del biodigestor, después de observar los biodigestores, fue realizada una lista de materiales necesaria para la construcción de estos equipamientos.

¹ <http://www.palotina.ufpr.br/portal/engenharia-de-energias-renovaveis/>

5.2. MATERIALES Y MÉTODOS

5.2.1. Parte eléctrica de control y potencia

Tabla 1 - Elementos que componen la instalación eléctrica del biodigestor.

DESCRIPCION	CANTIDAD
Resistencias blindada recta de 30cm de largo 220V e 500W de potencia puramente resistiva	1
Kit análise de biogás com biofoto microprocessado (Cod.2297) "ALFAKIT"	1
Control digital de temperatura marca "Full Gauge Controls" modelo "Tic- MT-512Ri 2HP"	1
Micro ventiladores Axial 14 cm "Ventisilva"	2
Porta lámparas fijos	2
Lámparas de bajo consumo blanca de 10W y 220V "Taschibra"	2
Interruptores Bipolares para luz interna	2
Disyuntores de 2x10 A	1
Caja de PVC para equipamiento eléctrico 20x20x10 cm	1
10 m cable flexible 1.5 mm	1
Canaleta para cables 20x10x2000 mm "Tramontina" blanco con cinta	1
Pino macho 3 polos 10A	1
Conectores para cable con 12 bornes 1,6 mm	1

Fuente: Autor, 2017

5.2.2. Reactores y recolección de Biogás

Tabla 2 - Materiales para sistema reactor-gasómetro.

DESCRIPCION	CANTIDAD
Mecheros de Bunsen o fogareiro 1B marca "Suportel"	1
Caño de drenaje PVC de Ø100mm "TIGRE"	2X6m
Tapas para caño de drenaje PVC de Ø100mm "TIGRE"	36
Inyectores de aluminio con pico 4,5cm marca "Araceba"	24
Registros hembra/hembra marca "Zamak"	12
"Te" para cocina "Zamak" 3/8" BM	12
Caño de gas de 3/8" marca "Goodyear"	30m

Espuma expansiva PRO30 500ml "Selena"	1
Cinta aislante uso general 18mm x 20m "TIGRE"	1
Cinta aislante AUTOFUSION 19mm x 5m "3M"	1
Abrazaderas para caño de gas 3/8"	75
Abrazaderas Nylon 3,6x140 mm	30
Masa Epoxi "Pulvitec" 100g	5
Pintura acrílica blanca para hierro	2L
Aguarrás para preparación de pintura	2L
Cinta tapa rosca 18mm x 50m "TIGRE"	1
Tanque de agua fibra 250L "BAKOF"	1

Fuente: Autor, 2017

5.3. PREPARACIÓN DEL CUERPO PRINCIPAL DEL BIODIGESTOR

Para el cuerpo principal del biodigestor, fue utilizado el casco de una heladera con compartimiento para el congelador, siendo retirados todos los componentes internos, entre ellos el motor de la heladera, siendo necesario ese espacio para la construcción del biodigestor.

Inicialmente, fue realizada la abertura de dos orificios rectangulares en el casco, atravesando el aislante y el plástico del interior de la heladera, para la salida de los caños de gas de 3/8" de diámetro y también para los cables encargados de la electrificación de las lámparas, de la resistencia eléctrica y el cable del sensor del controlador de temperatura, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 1 - Estructura interna del biodigestor con los orificios para la disposición de los caños de gas.



Fuente: Autor, 2017

Realizado la labor de haber cortado y retirado el aislante, se procedió a la construcción de las cajas de aluminio donde pasaran los caños de gas, los cables de alimentación y donde se colocara el aislante térmico. Estas cajas de aluminio fueron obtenidas a partir del reciclaje de perfiles de aluminio.

Figura 2 - Perfil de Aluminio pronto para instalación.



Fuente: Autor, 2017

Después de cortar el perfil en uno de sus lados como muestra la figura 2, se realizaron cuatro agujeros en las extremidades para el pasaje de tornillos auto perforantes. Estos tornillos son los encargados de fijar la caja de aluminio a la carcasa de hierro (como son metales diferentes, su fijación se realiza de manera mecánica). Con la

caja de aluminio pronta, fue realizada la fijación a la carcasa del futuro biodigestor, se colocaron los tornillos por medio de un taladro con la función de atornillar y para la fijación final.

Puesta la caja de aluminio en sus lugares correspondientes, fueron hechos seis agujeros circulares que permiten la conexión de los reactores con los gasómetros por medio del pasaje de los caños de gas. Para agujerear la caja de aluminio, se usó un taladro con sierra corona de 10 mm de diámetro que permitió realizar el corte en el material ya con la forma circular de forma rápida y con el menor desperdicio de material. Fueron dispuestos los seis agujeros en formación de tres pares, para mejor ejemplificación, se mostrara la figura a continuación.

Figura 3 - Agujeros para los caños de gas.



Fuente: Autor, 2017

Los extremos abiertos de la caja de aluminio fueron tapados a partir de tapas hechas con el material retirado y pegados con cola epoxi. Para evitar la salida del poliuretano expandible, se colocó masa epoxi alrededor de la unión entre la caja de aluminio y la carcasa de hierro.

Colocada la masa y aguardando el tiempo necesario para su secado, se introdujeron los caños por el lado interior y los cables de corriente que alimentaran las luces y resistencia interna del biodigestor, como se muestra en la figura 5. Después de haber colocados los cables de electricidad y los caños de gas, se cerró la caja de aluminio

por la parte de adentro del biodigestor con el implemento de una tapa plástica atornillada hecha para este fin, conforme figura 4.

Figura 4 - Tapa plástica de ingreso con tornillos.



Fuente: Autor, 2017

Figura 5 - Colocación de los caños de gas e cables de alimentación.



Fuente: Autor, 2017

Después de colocados los caños, se selló con poliuretano expansible y masa Epoxi de manera de cubrir todo el interior de la caja de aluminio con poliuretano. Realizada la colocación y fijación de los caños de gas, los mismos fueron conectados entre los reactores y los gasómetros, haciendo coincidir un reactor con un gasómetro

colocándole posteriormente un número para identificar el gasómetro a cual reactor pertenece.

Figura 6 - Conexión de prueba del biodigestor.



Fuente: Autor, 2017

5.4. CONSTRUCCIÓN DE LOS REACTORES-GASÓMETROS

Los reactores y gasómetros fueron contruidos en caños de PVC de 100 mm de diámetro. Para cortar el caño de PVC a la medida de los reactores, se implementó una pulidora circular con disco de corte de hierro. Luego se pasó una lija para retirar las rebarbas de PVC y dejar la superficie áspera para aplicar el pegamento de PVC. Los reactores en fase de construcción son mostrados en la figura 7.

Figura 7 - Corte de los caños de PVC.



Fuente: Autor, 2017

Fueron contruidos 6 reactores de 50cm para alojar en la parte inferior y 6 reactores de 30 cm de largo para la parte superior. Una de las extremidades será sellada por medio de pegamento de PVC (Figura 8) y la otra permitirá la entrada de material orgánico y salida del biogás, la cual a la hora del funcionamiento, permanecerá cerrada generando la atmósfera libre de oxígeno.

Para cerrar correctamente la extremidad del reactor donde se colocara la materia orgánica, será colocada algún tipo de silicona que permita el sellado del reactor sin pegar la tapa permanentemente. Esta silicona debe permitir la apertura del reactor sin destruirlo ni ocasionar perdida de material orgánico y de biogás.

Figura 8 - Sellado de las CAP en la base de los reactores.



Fuente: Autor, 2017

Para las tapas de los reactores se realizó un agujero en el medio de cada CAP para la introducción de un inyector de gas de alta presión adaptado para baja

presión. Estos inyectores permiten realizar la conexión del caño de gas con el reactor para la salida del gas de manera segura para evitar pérdidas de biogás y que a la vez permita el funcionamiento de los reactores.

Figura 9 - Realización del agujero para introducción del inyector.



Fuente: Autor, 2017

Figura 10 - Modificación de los Inyectores.



Fuente: Autor, 2017

En la figura 10 se muestra la modificación realizada a los inyectores de gas. Estos dispositivos se usan en hornos industriales con gas a alta presión, como el biogás generado está a baja presión, la única manera que el biogás pueda salir del reactor, es aumentar el agujero del inyector.

Figura 11 - Colocación de teflón en el inyector.



Fuente: Autor, 2017

Después de cortado el extremo de los inyectores, con una lija fina se retiran todas las rebarbas originadas a la hora de cortar y se limpian de manera de retirar toda partícula del material. El inyector después de cortado, se le coloca teflón en la superficie que estará en contacto con la CAP (Figura 11).

Realizado este pasó, se inserta el inyector en la CAP y se fija por medio de una tuerca que ya viene con el inyector (Figura 12).

Figura 12 - CAP con el inyector en su posición.



Fuente: Autor, 2017

Para mejorar la estanqueidad del reactor, se colocó masa epoxi en el interior de la unión entre la CAP y el inyector (Figura 13), tapando toda la unión y rellenándola con masa epoxi. La masa epoxi también brinda una soldadura plástica que permite una fijación fuerte del inyector en la CAP. Para finalizar la tapa del reactor, se preparó masa epoxi líquida y colocada en la unión entre la CAP y el inyector pero por la

parte de fuera del reactor, procediendo de la misma manera que fue realizada con la masa epoxi.

Figura 13 - Masa epoxi entre la CAP e inyector.



Fuente: Autor, 2017

Luego de haber dejado por lo menos una semana para el correcto curado de las diferentes sustancias utilizadas para la confección de los reactores, se montaron estando listos para su uso. La Figura 14 muestra un reactor totalmente completo.

Figura 14 - Reactor de PVC completo.



Fuente: Autor, 2018

5.5. SISTEMA DE CALEFACCIÓN DEL BIODIGESTOR

Para el sistema de calefacción del biodigestor, fue utilizada una resistencia de 500W de potencia eléctrica y un voltaje de 220V, como se muestra en la figura 15. Esta resistencia fue instalada dentro de la carcasa del biodigestor para brindar de energía térmica al interior.

La potencia escogida fue arbitraria ya que la variable que influye el valor de la resistencia es el tiempo necesario para llegar a la temperatura óptima de trabajo, es decir, cuanto menor la potencia, mayor el tiempo para llegar a la temperatura óptima de trabajo y viceversa. En régimen permanente, el controlador mantendrá la temperatura dependiendo de la potencia eléctrica de la resistencia.

Figura 15 - Resistencia Blindada 500W.



Fuente: Autor, 2017

La resistencia fue fijada por medio de 2 piezas de ladrillo para altas temperaturas (Figura 16). Estas piezas fueron agujereadas para introducir la resistencia y pegada con masa epoxi en la parte inferior del biodigestor.

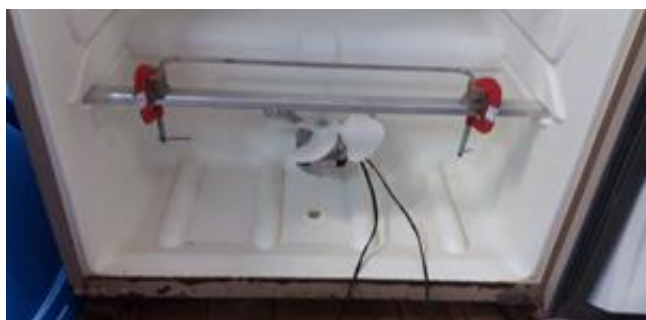
Figura 16 – Ladrillo refractario para soporte de resistencia.



Fuente: Autor, 2017

Después de construir las dos piezas de ladrillo para la ubicación de la resistencia, se procedió a la fijación de esos ladrillos y estos fueron fijados en la viga de aluminio con la ayuda de dos sargentos, como se muestra en la Figura 17.

Figura 17 - Resistencia fijada al cuerpo del biodigestor.



Fuente: Autor, 2017

Para el control de la resistencia, se utilizó un controlador digital de temperatura, como se presenta en la Figura 18, que permitirá una franja de temperatura entre los 35 y 40°C, temperatura ideal para la acción de las bacterias metanogénicas. La protección del circuito eléctrico contra sobrecargas fue realizada por medio de la implementación de una llave térmica de 10A de corriente máxima. Esta llave bipolar permite la protección del circuito eléctrico cuando se originan cortocircuitos, estos cortocircuitos aumentan la corriente que pasa por los cables, aumentando así la temperatura del material, pudiendo llegar a temperaturas de ignición.

Figura 18 - Controlador de temperatura.



Fuente: Autor, 2018

Para garantizar la homogeneidad de la temperatura en el interior del biodigestor, fue instalado un ventilador para generar convección forzada en el interior, aumentando así el intercambio térmico entre el aire caliente del fondo y el aire frío de la parte superior del biodigestor, como se muestra en la Figura 19.

El ventilador fue fijado a la carcasa por medio de dos tornillos auto-rosca con 10 cm de largo. El largo de los tornillos se debió a que para que la fijación sea fuerte, se tiene que hacer en el casco metálico, el cual se encuentra a más de 5cm de aislamiento del lado de fuera. Una vez fijado en la carcasa de hierro, el ventilador queda bien fijo y listo para su conexión eléctrica.

Figura 19 - Instalación del ventilador.



Fuente: Autor, 2017

Fue instalado dos interruptores unipolares para el encendido de dos lámparas fluorescentes de 10W cada una. Cada lámpara posee un portalámparas de

cerámica con los agujeros prontos para su fijación por medio de tornillos, como se muestra en la figura 20.

Figura 20 - Instalación del portalámparas e interruptor.



Fuente: Autor, 2017

El electrodo encargado de mandar el impulso eléctrico al controlador de temperatura fue instalado en el compartimiento superior del biodigestor. Fue utilizada las canalizaciones para la instalación eléctrica para llevar el cable del electrodo hasta el controlador, mostrado en la figura 21.

Figura 21 - Electrodo en posición.



Fuente: Autor, 2018

Fue escogido este sitio para la ubicación del electrodo para asegurar que la temperatura óptima de trabajo del biodigestor sea alcanzada en toda la extensión del cuerpo principal. Para auxiliar al ventilador, fue instalado un micro ventilador de 10W de potencia eléctrica con un voltaje de 220V, semejante al modelo que se presenta en la figura 22.

La idea de este micro ventilador es la recirculación constante (24h de funcionamiento) del aire dentro del biodigestor, esto se debe también a que después de haber llegado a la temperatura óptima, tanto la resistencia como el ventilador se apagan. Este micro ventilador estará prendido ininterrumpidamente manteniendo el flujo de aire dentro del biodigestor en constante movimiento.

Figura 22 - Micro ventilador axial.



Fuente: <https://www.eletronics.com>

Todos los componentes eléctricos instalados en el biodigestor son encaminados hacia el cuadro central donde se encuentra el controlador de temperatura y la llave térmica de protección del circuito (Figuras 23 y 24).

Figura 23 - Instalación del cuadro central.



Fuente: Autor, 2018

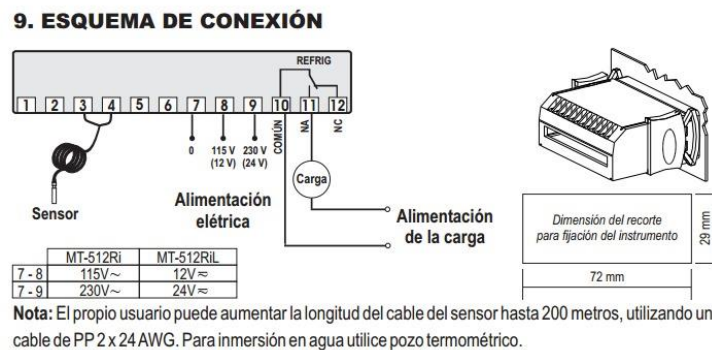
Figura 24 - Cuadro central instalado.



Fuente: Autor, 2018

El controlador de temperatura usado fue el modelo *Full Gauge MT-512Ri 2HP*. Este tipo de controlador posee la conexión para el electrodo que mide la temperatura, con la alimentación eléctrica que puede ser en 110V o 220V y con relé instalado para la alimentación de la carga. Para alimentar la carga existe un polo común y el otro polo puede ser en NC (contacto normal cerrado) o NO (contacto normal abierto). El esquema de conexión para el controlador de temperatura utilizado es mostrado en la Figura 25.

Figura 25 - Esquema de conexión del MT-512Ri 2HP



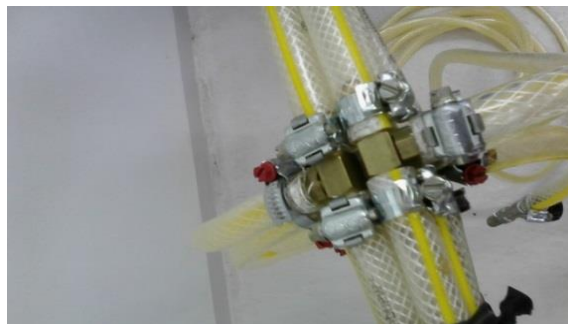
Fuente: Full Gauge, 2017.

Como la resistencia al inicio va a necesitar suministrar energía al biodigestor a la hora del funcionamiento (Temperatura ambiente menor a la temperatura de funcionamiento) la carga es conectada al NC del controlador de temperatura, cuando este llega a la temperatura máxima, el NC abre para NO apagando el sistema de calefacción del biodigestor. Enseguida que comienza a disminuir y llega a la temperatura mínima de funcionamiento, el controlador cierra de NO para NC comenzando nuevamente el suministro de energía térmica al biodigestor. Para finalizar el conexionado eléctrico, se colocó un cable “gemelo” de 1,5mm de diámetro que va desde la entrada de la llave térmica hasta la ficha macho de conexión en el tomacorriente. La ficha macho utilizada soporta hasta 20A de corriente.

5.6. EXTRACCIÓN DEL BIOGÁS

La extracción del biogás del sistema Reactor-Gasómetro fue realizada con un té de bronce, interviniendo el caño de gas de 3/8”. Para obtener mayor seguridad en lo que concierne a pérdidas de biogás, fue colocado teflón en las tres puntas del té que estarán dentro de los caños de gas de 3/8” y apretados con arandelas de hierro galvanizado. El sistema para la extracción de biogás se muestra en la Figura 26.

Figura 26 - Tés para la extracción de biogás del sistema reactor-gasómetro.



Fuente: Autor, 2018

En uno de los extremos de las puntas de la derivación del té, se ubicó el caño de gas conectado a una canilla de gas de alta presión con adaptador rosca de 3/8” para conexión con la cañería de gas, (Figura 27). Este sistema tuvo como objetivo permitir

el acople de algún tipo de dispositivo móvil para la colecta de muestras de biogás para su posterior análisis.

Figura 27 - Canilla de gas para extracción de biogás.



Fuente: Autor, 2018

5.7. DEPOSITO DE BIOGAS

El depósito de biogás será formado por un tanque de agua en el cual se colocaran los soportes con los gasómetros de PVC de cada reactor. La construcción del soporte metálico fue realizada en chapa de hierro plegada para fortaleza estructural, conforme mostrado en la Figura 28.

Figura 28 - Construcción del soporte metálico.



Fuente: Autor, 2018

Cada hueco posee un cilindro de hierro de 10 cm que permiten el correcto deslizamiento del gasómetro y sirven como tope para la traba del gasómetro. La pintura del soporte fue realizada con pintura electroestática con secado en horno, este tipo de pinturas tiene un gran grado de protección contra óxido. Esta pieza deberá estar siempre bajo agua ya que su operación así lo demanda, teniendo que soportar un ambiente agresivo de trabajo. Su mantenimiento preventivo debe ser realizado semestralmente y constara de una examinación visual del soporte metálico en búsqueda de óxido de hierro.

Figura 29 - Gasómetros "modelando" dentro del depósito.

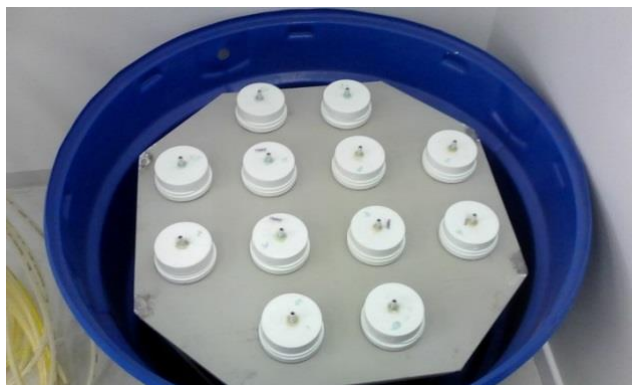


Fuente: Autor, 2017

Los gasómetros serán fabricados de la misma manera que los reactores, la diferencia es que uno extremo está en contacto con el agua del depósito (Figura 29). Por medio de un sistema de sobrepeso, el gas que se acumule, será a presión constante hasta un determinado volumen, donde pasara a aumentar la presión a volumen constante.

Cuando el biogás es generado dentro del reactor, el gasómetro se desplazara verticalmente fuera del agua. Este sistema de almacenamiento (Figura 30) funciona como un sistema cilindro-embolo donde el embolo seria el agua evitando toda fuga de gas y manteniendo una presión constante de gas.

Figura 30 - Gasómetros en sus respectivos lugares.



Fuente: Autor, 2018

En el extremo de los gasómetros se colocaron topes que no permiten la salida del gasómetro fuera del agua cuando este se llena de biogás, el tope fue construido con una varilla de hierro de 6mm de diámetro atravesando el diámetro del gasómetro lo que permite la trabe con el soporte metálico. En la figura 31, se observa el soporte para los gasómetros con las trabas instaladas.

Figura 31 - Gasómetros con las trabas instaladas.



Fuente: Autor, 2018

Con el depósito de biogás pronto, se conectan las mangueras provenientes de los reactores procediendo de la misma manera que se realizó para los reactores utilizando teflón y abrazaderas de hierro para apretar el caño de gas.

Los reactores y gasómetros deben ser identificados con algún tipo de número o letra para no llevar a confusiones a la hora de extracción del biogás. La idea central del biodigestor es poseer varios reactores para desarrollar varios estudios en

paralelo, la identificación permite tener seguridad a la hora del funcionamiento del biodigestor evitando confusiones. El autor recomienda para futura la colocación de una cinta métrica para medir el desplazamiento de los gasómetros y de esta manera realizar el cálculo del volumen de gas almacenado.

La figura 32 muestra el biodigestor terminado, se puede observar el cuerpo del biodigestor con los caños de gas de 3/8" encaminados hasta el depósito de biogás que contiene el soporte con los gasómetros.

Figura 32 - Biodigestor con deposito de gas terminados.

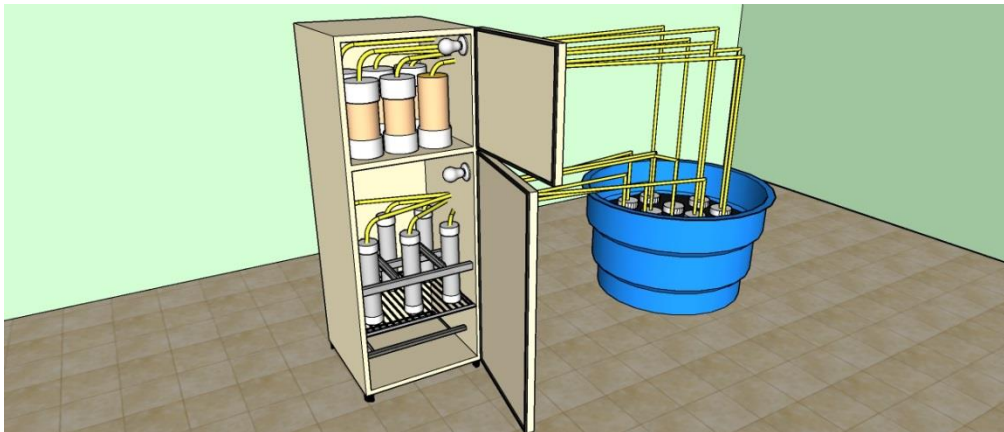


Fuente: Autor, 2018

6. DISEÑO DIGITAL DEL BIODIGESTOR

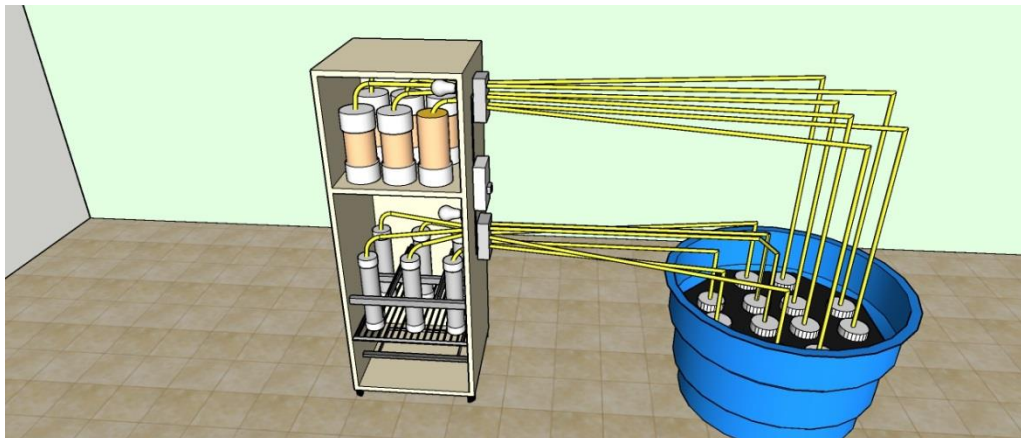
Se realizó el diseño digital del biodigestor usando el software de SketchUp. Su diseño fue de construcción simple ya que se busca un diseño neutral para que pueda ser aplicado a cualquier casco de heladera. A continuación los diseños realizados.

Figura 33 - Vista frente en diseño técnico.



Fuente: Autor, 2018

Figura 34 - Vista frente en diseño técnico.



Fuente: Autor, 2018

7. CONCLUSIONES

Por medio de la implementación práctica se logró la construcción de un biodigestor experimental el cual podrá ser usado para la investigación de biogás y de biofertilizante a nivel académico.

Siguiendo el procedimiento estipulado para la construcción del biodigestor, sirvió como puntapié para la elaboración inicial de un manual educativo que transmita el proceso desarrollado para la realización del proyecto constructivo.

La construcción del biodigestor permitió también que la universidad pase a tener un instrumento a más para el estudio de biocombustibles de primera generación, también permite su uso educativo en estudios de procesos biológicos.

Para la construcción del biodigestor, se logró implementar materiales reutilizables, permitiendo así la disminución del costo por compra de materiales nuevos, además de brindar una segunda oportunidad a materiales que serían desechados sin ningún tipo de aprovechamiento.

En el periodo de la construcción del biodigestor, se formó un grupo de trabajo el cual participó activamente de la construcción del biodigestor, permitiendo la desimanación del proyecto para la construcción de futuros prototipos, abarcando alumnos de los cursos de ingeniería de energía e ingeniería química.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

- ARBOLEDA, Y. O.; SALCEDO, L. O. G. **Fundamentos para el diseño de biodigestores**. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, p. 32. 2009.
- CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GOMEZ, E. O. **Biomassa para Energia**. Universidade de Campinas. Campinas, p. 29. 2008. (ISBN 978-85-268-0783-9).
- DEGANUTTI, R. et al. **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada**. Universidade Estadual Paulista. Bauru, p. 5.
- KARLSSON, T. et al. **Manual Básico de Biogás**. 1a. ed. Lajeado: [s.n.], v. 1, 2014.
- KRETZER, S. G. et al. Educação Ambiental em Gestão de Resíduos e uso do Biodigestor em Escola Pública de Florianópolis. **Revista Eletrônica de Extensão**, Florianópolis, 2015. 2-15.
- LOPEZ, I.; BORZACCONI, L. Introducción al diseño de reactores. In: **Notas del Curso**. Montevideo: Facultad de Ingeniería, 2009. p. 16.
- LUSTOSA, G. N.; MEDEIROS, Í. H. B. **Proposta de um Biodigestor Anaeróbio Modificado para Produção de Biogás e Biofertilizante a Partir de Resíduos Sólidos Orgânicos**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 74. 2014.
- MORENO, M. T. V. **Manual de Biogás**. FAO. Santiago de Chile, p. 119. 2011. (ISBN 978-95-306892-0).
- PETROBRAS. **Biocombustíveis: 50 perguntas e respostas sobre este novo mercado**. 1ra. ed. Rio de Janeiro: Newsday Consultoria de Comunicação e Marketing, v. I, 2007.
- PINEDA, G. A. **Caracterización de Biogás proveniente de la fermentación de la mezcla de agua de lavado de café y glicerina residual del biodiesel por medio de cromatografía de gases**. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala, p. 52. 2011.
- RIZZONI, L. B. et al. Biodigestão Anaeróbia no Tratamento de Dejeitos de Suínos. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, Garça, Janeiro 2012. 20.
- SANTOS, E.; JUNGER, D. J.; SOARES, A. B. Cascas de Arroz: Uma Alternativa Promissora. **The Electronic Journal of Chemistry**, Campo Grande, 30 Dezembro 2014. 9.
- SANTOS, R. B.; LIMA, A. K. D. C. Análise Comparativa do Biogás: Processo em Biodigestores e de Aterro Sanitário. **Revista Eletrônica de Energia**, Salvador de Bahia, Janeiro 2016. 48-57.
- ZÚÑIGA, I. C. **Biodigestores**. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Hidalgo, p. 69. 2007.