



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION.

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE BIOMASA, BIOGÁS PARA EL
CALENTAMIENTO DE AGUA PARA UNA CASA TÍPICA DE LA
AMAZONÍA.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTOR: PAUL HERNAN PESANTEZ PICON.

DIRECTOR: SAMUEL SAMI HOWARD.

CUENCA - ECUADOR

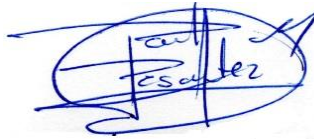
2020

*Yo me gradúe en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*

1. DECLARACIÓN

Yo, Paúl Hernán Pesántez Picón, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.



Paúl Hernán Pesántez Picón.

2. CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Paúl Hernán Pesántez Picón, bajo mi supervisión.

Dr. Samuel Sami Howard

Dr. Samuel Sami-Howard, PE, PhD, JD

DIRECTOR

3. DEDICATORIA

Este trabajo dedico con todo mi corazón a mis padres Hernán y Catalina, a mis hermanos Fernando y Anita que, con todo su apoyo, su cariño y la paciencia han sido el pilar fundamental para que hoy cumpla esta meta.

4. AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por darme la capacidad y las fuerzas para culminar mi carrera en este arduo camino de mi vida, en especial a mi familia que a pesar de las dificultades laborales confiaron en mí y me apoyaron para que cumpliera esta meta trazada.

Agradezco a mis compañeros con los que hemos compartido experiencias fabulosas durante todos estos años y hemos creado una fraterna amistad y han sabido apoyarme la cada lucha, además a mis compañeros de trabajo que con cada experiencia en el trabajo podemos aprender más allá de los libros.

Un agradecimiento al Centro de Investigación en Energías Renovables de la Universidad Católica de Cuenca por facilitarme los equipos y sus instalaciones para realizar este Trabajo Investigativo.

Y por último quiero agradecer de manera muy especial a mi director de tesis Dr. Samuel Sami-Howard, y al Ing. Edwin Marín quienes con sus conocimientos y su tiempo supo guiarme para la conclusión de esta Tesis.

RESUMEN

En este trabajo de investigación, se presenta la validación de un sistema de biogás para el calentamiento de agua en una casa típica de la Amazonía. El modelo de simulación presentado aproxima la cantidad de biogás generado diariamente, además se calcula la energía calórica combustionado por un calefón para obtener la transferencia de calor al agua que circula por el mismo. El sistema de generación de biogás utiliza la descomposición de la materia orgánica y la temperatura ambiente como fuente de energía para obtener un gas debido a la reacción química de sus componentes. Al realizar la validación de la generación de biogás y la transferencia de calor del biogás combustionado, reflejaremos los datos obtenidos durante las pruebas de laboratorio para dimensionar la cantidad de biogás que se genera según la temperatura ambiente y la cantidad de desechos orgánicos ingresados, de esta manera en base al pH del sustrato podremos valorar la cantidad de biogás a usarse regularmente para el calentamiento de agua diariamente. Según las fórmulas aplicadas podremos variar los datos promedio de temperatura ambiente y así acercarlos a los que de la Amazonía ecuatoriana de esa manera calcular un aproximado de la cantidad de biogás que se podría generar para ser combustionado por el calefón para el calentamiento de agua; Aplicando el mismo principio podremos valorar la temperatura de agua que podemos obtener considerando la temperatura del agua que ingresa al sistema de calentamiento de agua.

Palabras Claves: SIMULACIÓN, VALIDACION DE SISTEMA DE BIOGÁS, DESCOMPOSICIÓN, TRANSFERENCIA DE CALOR.

ABSTRACT

In this research work, the validation of a biogas system for water heating in a typical house in the Amazon region is presented. The simulation model presented approximates the amount of gas produced daily; similarly, it was calculated the caloric energy combusted by a water heater to obtain the heat transfer to the water that circulates in it. The biogas production system utilizes the decomposition of organic matter as well as the temperature of the environment as a source of energy to obtain gas produced as a consequence of the chemical reaction of its components. When conducting the validation of the biogas production and the heat transfer of its combustion, we will reflect the data obtained during the tests in the laboratory to size the amount of biogas produced according to the environmental temperature, and the amount of organic waste entered, so based on the pH of the substrate we will be able to value the amount of biogas to be used regularly for the daily water heating. According to the applied formulas, we will be able to vary the environmental temperature average data to bring them to those the Ecuadorian Amazon region provides to calculate an estimate of the amount of biogas that could be produced by the water heater to heat the water. Applying the same principles, we will be able to value the water temperature we can obtain considering the water temperature entering the water heating system.

KEYWORDS: SIMULATION, BIOGAS SYSTEM VALIDATION, DECOMPOSITION, HEAT TRANSFER.

TABLA DE CONTENIDO.

| | |
|--|-------------|
| 1. DECLARACIÓN..... | II |
| 2. CERTIFICACIÓN..... | III |
| 3. DEDICATORIA..... | IV |
| 4. AGRADECIMIENTOS..... | V |
| RESUMEN..... | VI |
| ABSTRACT..... | VII |
| Tabla de contenido..... | VIII |
| Tablas..... | XI |
| Tabla de figuras..... | XII |
| 5. INTRODUCCIÓN..... | XIII |
| 1) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA | 1 |
| 1.1. Biogás..... | 1 |
| 1.1.1. Etapas de la fermentación metalogénica..... | 1 |
| 1.1.1.1. Hidrólisis | 1 |
| 1.1.1.2. Etapa fermentativa o ácido génica..... | 2 |
| 1.1.1.3. Etapa acetogénicas..... | 2 |
| 1.1.1.4. Etapa metalogénica..... | 2 |
| 1.1.2. Temperatura según fermentación | 6 |
| 1.1.3. Rango de pH y alcalinidad. | 8 |
| 1.2. Ciclo cerrado de energía | 8 |
| 2) MODELAMIENTO MATEMATICO DE SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE AGUA CON BIOGÁS Y GENERACIÓN DE BIOGÁS..... | 9 |
| 2.2. Modelo ADM1 | 9 |
| 2.2.1. Etapa de hidrólisis..... | 11 |
| 2.2.2. Etapa de acidogénesis..... | 11 |
| 2.2.3. Etapa acetogénesis..... | 11 |
| 2.2.4. Etapa de metanogénesis. | 12 |
| 2.3. Modelado matemático de transferencia de calor en caudal de agua..... | 14 |
| 2.3.1. Capacidad térmica: | 15 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.4. | Balance de energía..... | 16 |
| 3) | TRABAJO EXPERIMENTAL Y MONITOREO | 17 |
| 3.1. | Proceso para la generación de biogás y calentamiento de agua | 17 |
| 3.2. | Sistema de generación de biogás PUXIN..... | 17 |
| 3.2.1. | Calefón..... | 19 |
| 3.2.2. | Calentador de Agua JSD-14 PUXIN..... | 20 |
| 3.3. | Funcionamiento..... | 21 |
| 3.3.1. | Depósito de Desechos orgánicos..... | 22 |
| 3.3.2. | Cañerías..... | 23 |
| 3.3.3. | Generador de presión de gas..... | 23 |
| 3.3.4. | Medidor de flujo de gas..... | 23 |
| 3.3.5. | Bomba de agua..... | 24 |
| 3.3.6. | Sistema de drenaje..... | 24 |
| 3.3.7. | Licuada industrial..... | 25 |
| 3.4. | Indicaciones para inicio de generación de biogás | 25 |
| 3.4.1. | Recolección de estiércol | 26 |
| 3.4.2. | Trasladados de tanques | 26 |
| 3.4.3. | Mezcla de materia orgánica | 27 |
| 3.4.4. | Alimentación de biodigestor | 28 |
| 3.5. | Sistema de monitoreo | 28 |
| 3.5.1. | Arduino Mega 2560..... | 29 |
| 3.5.2. | Node mcu..... | 31 |
| 3.5.3. | Dallas 18B20..... | 31 |
| 3.5.4. | Sensor de pH..... | 34 |
| 3.5.5. | YF-S201..... | 36 |
| 3.5.6. | Ubidots..... | 38 |
| 3.5.7. | Plataforma Visual | 39 |
| 3.6. | Combustión de biogás para calentamiento de agua por medio de calefón Puxin .. | 40 |
| 3.6.1. | Crecimiento de la bolsa que reúne biogás | 40 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.6.2. | Válvula de paso de biogás..... | 41 |
| 3.6.3. | Generador de presión de biogás. | 41 |
| 3.6.4. | Revisión de fugas..... | 42 |
| 3.6.5. | Encendido del calefón..... | 42 |
| 3.6.6. | Regulación de perillas de paso de agua y de biogás..... | 42 |
| 4) | RESULTADOS, DISCUSIÓN, VALIDACIONES..... | 44 |
| 4.1. | Resultados teóricos..... | 44 |
| 4.1.1. | Cálculo de transferencia de calor generada por el calefón a las tuberías. | 44 |
| 4.1.2. | Potencia calórica..... | 47 |
| 4.1.3. | Potencial Bioquímico..... | 51 |
| 4.2. | Resultados experimentales | 56 |
| 4.3. | Validaciones y comparaciones..... | 66 |
| 6. | CONCLUSIONES..... | 70 |
| 7. | RECOMENDACIONES. | 71 |
| 8. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. | 73 |
| 9. | Anexo 1..... | 76 |

Tablas.

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Grupos que aportan lípidos, proteínas, celulosa. | 4 |
| Tabla 2. “La composición promedio de la materia orgánica seca.” | 4 |
| Tabla 3. “La composición promedio de la materia orgánica seca.” | 5 |
| Tabla 4. Producción dinámica de biogás. | 6 |
| Tabla 5. Producción dinámica de biogás según la temperatura ambiente. | 7 |
| Tabla 6. Imágenes de los Sensores instalados en sistema Biodigestor. | 28 |
| Tabla 7 <i>Características sensor Dallas 18B20</i> | 33 |
| Tabla 8. Temperatura del sensor de salida de agua en función del tiempo | 46 |
| Tabla 9. Potencia calórica aproximada. | 49 |
| Tabla 10. “Potencial Bioquímico de Metano-PBM, a una temperatura de 30°C, durante 40 días.” | 51 |
| Tabla 11. Temperatura de salida de agua con relación a L/min | 53 |
| Tabla 12. Eficiencia de acuerdo con la temperatura | 55 |
| Tabla 13. Temperatura ambiente. | 56 |
| Tabla 14. pH medido en las pruebas durante la generación del biogás | 58 |
| Tabla 15. Temperatura del agua con Caudal determinado | 58 |
| Tabla 16. Temperatura del agua respecto al flujo de gas..... | 60 |
| Tabla 17. Valor de potencia con flujo regulado..... | 62 |
| Tabla 18. Eficiencia respecto a el Flujo de gas..... | 63 |
| Tabla 19. Eficiencia experimental respecto a la temperatura | 64 |

Tabla de figuras.

| | |
|---|-----------|
| Figura 1. Fracción molar del metano en n días | 8 |
| <i>Figura 2. Ciclo de carbono resumido en un proceso de extracción de energía de biomasa.</i> | <i>9</i> |
| Figura 3. procesos de conversión bioquímicos y fisicoquímicos | 10 |
| Figura 4. Sistema de digestión anaeróbica..... | 13 |
| Figura 5. desarrollado soluciones analíticas para un cuerpo semi-infinito | 15 |
| <i>Figura 6. Sistema biodigestor.....</i> | <i>17</i> |
| <i>Figura 7. Ensamblado de sistema biodigestor.</i> | <i>18</i> |
| <i>Figura 8. Sistema cerrado de biogás.</i> | <i>19</i> |
| <i>Figura 9. Exterior de calefón JSD-B20.</i> | <i>19</i> |
| <i>Figura 10. Dimensiones exteriores calefón Puxin.....</i> | <i>21</i> |
| <i>Figura 11. Disposición de sensores conectados en la planta de biogás</i> | <i>29</i> |
| Figura 12 Arduino Mega ADK 2560..... | 30 |
| Figura 13. Esquema de pin NodeMCU..... | 31 |
| Figura 14. Margen de error de medición del sensor d18B20..... | 32 |
| Figura 15 Tipos de encapsulado de Dallas 18B20..... | 34 |
| Figura 16. Margen de error de Dallas 18B20 | 34 |
| Figura 17 Sensor de pH..... | 35 |
| Figura 18. relación pH respecto a mV Fuente: (Engineering, 2020)..... | 36 |
| Figura 19 Sensor YF-S201..... | 36 |
| Figura 20. Curva de calibración YF-S201 Fuente: (HIDALGO, 2015). | 38 |
| <i>Figura 21. Crecimiento de bolsa de almacenamiento de gas.....</i> | <i>41</i> |
| <i>Figura 22. Especificaciones técnicas tubo PVC.....</i> | <i>44</i> |
| <i>Figura 23. Curva de función de transferencia de calor al sensor de salida de agua del calefón.....</i> | <i>47</i> |
| <i>Figura 24. Resultado EES potencia térmica y capacidad calórica.</i> | <i>49</i> |
| Figura 25. Potencia teórica. | 50 |
| <i>Figura 26. Temperatura estimada de salida de agua en la amazonia con pH 7.....</i> | <i>52</i> |
| Figura 27. Temperatura de salida de agua con relación a L/min | 54 |
| Figure 28. Diagrama de Sankey..... | 54 |
| Figura 29. Eficiencia de biogás teórica..... | 56 |
| Figura 30. Temperatura respecto al Caudal | 60 |
| Figura 31. Temperatura de agua respecto a flujo de gas..... | 61 |
| Figura 32. Eficiencia respecto al flujo de gas | 63 |
| Figura 33. Eficiencia Experimental | 65 |
| Figura 34. Temperatura del agua experimental vs teórica calculada..... | 67 |
| Figura 35. Eficiencia experimental y teórica respecto a la temperatura | 68 |
| Figura 36. Potencia experimental y teórica..... | 69 |

5. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación consiste en conocer el funcionamiento de una planta de generación de biogás que por medio de un calefón permita el calentamiento de agua. Posteriormente realizar una simulación de la generación de biogás y el calentamiento de agua con la intervención de factores como: la temperatura ambiente, temperatura del agua de ingreso, etc.; que influyen en este proceso.

Este trabajo de investigación está dividido en 4 capítulos. El primero capítulo se recompila información referente a la teoría del sistema biodigestor, que por último genera biogás para su combustión en un calefón para el calentamiento de agua de uso en una casa típica de la Amazonía.

En el segundo capítulo contiene los modelados matemáticos utilizados para esta investigación para posteriormente analizar los resultados obtenidos en la simulación dinámica con cada uno de los sistemas de ecuaciones utilizadas.

El tercer capítulo se presenta la situación que viven muchas comunidades en nuestro país Ecuador al no contar con el acceso al GLP de uso doméstico, en particularidad comunidades del Oriente Ecuatoriano alejados de las cabeceras cantonales. Además, se presenta el proceso experimental realizado en el laboratorio del Centro de Energías Renovables de la Universidad Católica de Cuenca.

En el cuarto y último capítulo se presenta la validación del modelo teórico o numérico con los datos obtenidos del sistema generador de biogás PUXIN del Centro de Investigación en Energía Renovables de la Universidad Católica de Cuenca.

La elaboración de este trabajo de investigación es de gran importancia por el aporte en materia de generación de energía para el aprovechamiento de los la materia orgánica producto del deshecho domestico diario y la aportación al medio ambiente.

Se realizó la recopilación de datos de generación de biogás que se encuentran almacenados en una base de datos que se puede visualizar en tiempo real por medio de la web.

El resultado de los objetivos planteados y propuestos tuvo un alcance satisfactorio, logrando obtener una simulación dinámica para diversas condiciones tanto de utilización como de generación de biogás, y de esta manera obtener los resultados esperados, satisfaciendo las necesidades para sistemas aislados de generación de biogás.

Para la realización y desarrollo de la investigación la Universidad Católica de Cuenca, dio todas las facilidades en el uso del sistema generador de biogás PUXIN del Centro de Investigación de Energías Renovables.

CAPITULO 1.

1) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Este capítulo está dividido en tres secciones. La primera sección habla sobre los principios básicos de la generación de biogás en el sistema PUXIN.

La segunda sección habla sobre el ciclo cerrado de energía aprovechado del ciclo natural que contribuye con la reducción de gas metano en la atmósfera y el sistema de generación de biogás PUXIN (Moreno, 2011).

La última sección está dedicada al sistema de calentamiento de agua por medio de combustionar el biogás.

1.1. Biogás

Este es un gas combustible obtenido de los desechos orgánicos mediante la degradación o fermentación anaeróbica de estos. Es una mezcla gaseosa constituida del 55 - 70% de metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y otros gases. Se produce en la naturaleza comúnmente en pantanos. Cuando este gas produce un contenido de metano superior al 45%, es inflamable. (Moreno, 2011), (Ratnadip R Joshi, 2012).

1.1.1. Etapas de la fermentación metalogénica.

Es un proceso complejo por el número de reacciones bioquímicas y también por el número de bio organismos que se involucran en el proceso. Este proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica se lleva a cabo en cuatro fases

- Hidrólisis
- Etapa fermentativa o ácido génica
- Etapa acetogénicas
- Etapa metalogénica

1.1.1.1. Hidrólisis

En la etapa de la hidrólisis se producen compuestos solubles como los aminoácidos, azúcares y ácido grasos de cadena larga, que puedan atravesar la pared celular. Siendo este el primer paso para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. En esta etapa la temperatura es

un factor muy importante definiendo en si el tiempo necesario para generar el biogás. Existen tres tipos básicos de macro células como los hidratos de carbono, proteínas y lípidos.

Digestión o fermentación anaeróbica, es la descomposición sin oxígeno de materia orgánica para la obtención de biogás. Para que la materia orgánica inicie el proceso de fermentación es necesario que los microorganismos se hidrolicen en compuestos solubles, este proceso depende de la temperatura de proceso, tiempo de retención hidráulico de la composición química de la materia prima o material orgánico utilizado, su porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas, nivel de pH y concentración de NH_4 . Entre estos las proteínas forman un papel muy importante en la digestión anaeróbica, por ser una fuente importante de carbono y energía; esta etapa suele ser limitante en cuanto al tiempo, debido que se ve afectada por la velocidad de degradación de los materiales orgánicos compuestos por la lignina, generalmente el aumento de temperatura en el proceso ayuda a la tasa de hidrolisis, consiguiendo resultados en menor tiempo. (Moreno, 2011).

1.1.1.2. Etapa fermentativa o ácido génica.

En esta etapa las moléculas orgánicas se disuelven en compuestos necesarios para la producción de alimento necesario por otro grupo de bacterias que favorecen la eliminación de oxígeno que exista en el sistema (Moreno, 2011).

1.1.1.3. Etapa acetogénicas.

Los distintos productos de fermentación que pueden ser ingresados se metabolizan diferente, dependiendo de su composición, siendo unas bacterias capaces de crecer de manera acelerada en comparación con otras. Estas bacterias acetogénicas no producen hidrogeno si no lo consumen como sustrato estas permiten mantener bajas presiones parciales del hidrógeno por lo que se permite la actividad de bacterias ácido génicos y acetogénicas (Moreno, 2011), (Brayan Alexis Parra-Orobio, 2014).

El resultado del metabolismo de estas bacterias aporta como sustrato de las bacterias involucradas posteriormente en la generación del biogás (Moreno, 2011).

1.1.1.4. Etapa metalogénica.

Estos microorganismos producen metano mediante sustratos mono carbonados y la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, aquí se genera el proceso de bio metalización. Estos microorganismos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano. (Moreno, 2011). (Brayan Alexis Parra-Orobio, 2014).

Para la generación del biogás es necesario materias primas por lo que también serán analizadas según el aporte que tengan cada una de estas.

En la fermentación metalogénica se pueden utilizar varias materias primas estos pueden ser residuos orgánicos o de origen vegetal, animal, agroindustrial, forestal, domésticos etc. Se puede reflejar en la Tabla 1.

Tabla 1. Tipos de residuos.

Fuente: (Moreno, 2011)

| | |
|--|--|
| RESIDUOS DE ORIGEN ANIMAL | Estiércol, orina, guano, camas, residuos de maderos (sangre y otros), residuos de pescado. |
| RESIDUOS DE ORIGEN VEGETAL | Malezas, rastrojos de cosechas, pajas, forraje en mal estado. |
| RESIDUOS DE ORIGEN HUANO | Heces, basura, orina. |
| RESIDUOS AGROINDUSTRIALES | Salvado de arroz, orujos, <u>cosetas</u> , malezas, residuos de semillas. |
| RESIDUOS FORESTALES | Hojas, vástagos, ramas y cortezas. |
| RESIDUOS DE CULTIVOS ACUÁTICOS. | Algas marinas, jacintos, malezas acuáticas. |

Para que se inicie el proceso microbiológico, es necesario fuentes de carbono, nitrógeno, sales minerales como (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel).

Debido al compuesto químico de sustancias orgánicas, el estiércol, lodos cloacales son adecuadas para la generación del biogás en algunos casos necesario la adición de compuestos para la generación del biogás. Para la degradación de estas sustancias dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación de estos.

Las diferentes sustancias de materia prima ingresadas a la planta de biogás ofertan diferentes porcentajes de lípidos, proteínas, celulosa, Hemicelulosa, lignina, ceniza, estos representan el 50% del peso total de las sustancias Tabla 1.

Tabla 1. Grupos que aportan lípidos, proteínas, celulosa.

| Materia Prima | Lípidos (%) | Proteínas (%) | Celulosa Hemicelulosa (%) | Lignina (%) | Ceniza (%) |
|------------------------|--------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------|-------------------|
| Paja de trigo | 1.10 | 2.10 | 65.45 | 21.60 | 3.53 |
| Paja de centeno | 9.62 | 5.42 | 59.95 | 12.70 | 12.31 |
| Paja de arroz | 235 | 1,226 | 30.51 | 10.61 | 12.55 |
| Poroto verde | 3.80 | 11.04 | 39.61 | 13.84 | 9.14 |
| Pasto verde | 8.05 | 4,94 | 57.22 | 9.80 | 19.99 |
| Alfalfa | 10.41 | 1,281 | 36.79 | 8.95 | 10.30 |
| Hojas secas | 401 | 347 | 32.78 | 29.66 | 4.68 |
| Caña maíz | | 4,50 | 35.40 | 10.30 | 6.50 |
| Bovino | 3.23 | 905 | 3,249 | 35.57 | 19.66 |
| Porcino | 1,150 | 1,095 | 3,239 | 21,49 | 23.67 |
| Aves | 2.84 | 9.56 | 5,055 | 19.82 | 17.23 |
| Equino | 270 | 5.00 | 40.50 | 35.00 | 17.80 |
| Ovino | 6.30 | 3.75 | 32.00 | 32.00 | 25.95 |
| Caprino | 290 | 4.70 | 34.00 | 33.00 | 26.40 |

Fuente: (Moreno, 2011)

La “composición promedio de la materia orgánica seca es: 48% C; 44% O; 7% H; 2% N. Los minerales presentes como calcio, potasio, magnesio, fósforo, azufre y elementos trazas son del orden de 1 a 10% del peso seco” (Moreno, 2011), y podemos ver los porcentajes en la Tabla 2.

Tabla 2. “La composición promedio de la materia orgánica seca.”

| Materia Prima | C (%) | N (%) | P₂O₅ (%) | K₂O (%) | C_aO (%) | MgO (%) |
|----------------------|--------------|--------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|
| Excremento | | | | | | |
| Bovino | 17,4 -40.6 | 0.3-2,0 | 0.1 -1.5 | 0,10 | 0.35 | 0.13 |
| Porcino | 17,4 .46,0 | 1,1-2,5 | 0,4 -4,6 | 0.30 | 0.09 | 010 |
| Caprino | 35.0 -50.0 | 1.0-2,0 | 0,2-1,5 | 2.30 | | |
| Equino | 35.0 .52,0 | 0.3-0.6 | 0,4 -1,6 | 0.35 | 0.15 | 012 |
| Ovino | 35.0-46.0 | 0,3-0.6 | 0,3-1,0 | 0.15 | 033 | |
| Conejos | 23,0-35,0 | 1,0-1,9 | 0.9- 1,8 | 210 | 045 | 0.15 |
| Aves | 26.0-35.0 | 1,4 -2,0 | 2,0-2,8 | 1.40 | 0,80 | 0.48 |
| Patos | 29.0 - 41,0 | 0,6 -0.8 | 1.0-1,5 | 0.40 | 080 | |
| Pavos | 17,4 - 41,0 | 0,6-0,8 | 0,5-0,8 | t ,10 | 0.80 | |
| Humanas | 2.5 | 0,8- 1.0 | 0.5 | 0.30 | | |

| Mezclas: | | | | | | |
|---------------|-------------|----------|----------|------|------|------|
| Porcino+paja | 20.0 -22,0 | 0,3-0.5 | 0.24 | 0.63 | 0,20 | |
| Bovino+paja | 44,0 -46.0 | 0,3-0,5 | 0.79 | 1.55 | 030 | |
| Rastrojo: | | | | | | |
| Calla maíz | 30.0 -40.0 | 0,8-1,8 | 0,4 -0,6 | 2.40 | 0,50 | 0.49 |
| Paja de trigo | 18,0 -46,0 | 0.53 | 0.70 | 0.40 | 0.26 | 0.16 |
| Paja de avena | 22.0 - 29.0 | 053 | 0.40 | 030 | 0,40 | |
| Paja cebada | 58.0 | 0.64 | 019 | 1.07 | 033 | 0.33 |
| Paja arroz | 40,0 - 42.0 | 0.64 | 0.80 | 0.40 | 0,60 | |
| Paja haba | 28.0 -33.0 | 1,5- 1,9 | 0.40 | 2.30 | 1,35 | |
| Tomate | 27,0 -30.0 | 260 | | | | |
| Papas | 300 | 034 | 016 | 0.58 | 0,64 | |
| Betarraga | 300 | 200 | 0.70 | 530 | 1.95 | 0.83 |
| Rábanos | 30.0 | 250 | | | | |
| Hojas secas | 35.0 -40.0 | 100 | 0.30 | 0,20 | 2,00 | |
| Aserrín | 44.0 | 0.06 | 0.01 | 001 | | |

Fuente: (Moreno, 2011).

Los sustratos se clasifican en cuatro clases: Sólido, Lodo altamente contaminado, alta viscosidad, Fluidos con alto contenido de sólidos suspendidos, Fluidos muy contaminados, sólidos en suspensión, Tabla 3. Estos presentan diferentes características cuantitativas que variara la producción de biogas, dependiendo de la composición bioquímica. Tabla 4, (Moreno, 2011).

Tabla 3. "La composición promedio de la materia orgánica seca."

| CARACTERÍSTICAS | CLASE | TIPO DE SUSTRATO | CARÁCTERÍSTICAS CUANTITATIVAS |
|---|-------|--|---|
| Sólido. | 1 | Basura doméstica. | >20 % ST |
| | | Estiércol sólido. | 40-70 % Fracción |
| | | Restos de cosecha. | Orgánica. |
| Lodo altamente contaminado, alta viscosidad. | 2 | Heces animales. | 100 – 150 g/l DQO 5% - 10% ST 4% - 8% SV. |
| Fluidos con alto contenido de sólidos suspendidos. | 3 | Heces animales, cría y levante diluido con agua de lavado. | 3 – 17 g/l DQO 1 – 2 g/l SS |
| | | Aguas residuales de agroindustrias | |

| | | | |
|---|---|-------------------------------------|------------------|
| Fluidos muy contaminados, sólidos en suspensión. | 4 | aguas residuales de agroindustrias. | 5-18 g/l DQO. |
| | | Aguas negras. | 4 – 500 g/l DQO. |

Fuente: (Moreno, 2011).

Tabla 4. Producción dinámica de biogás.

| Estiércol | Disponibilidad Kg/día* | Relación C/N | Volumen de biogás. | |
|-------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|----------------------------|
| | | | $\frac{m^3}{kg}$ húmedo | $\frac{m^3}{kg}$ día /año. |
| Bovino (500 Kg) | 10.00 | 25:1 | 0.04 | 0.400 |
| Porcino (50Kg) | 2.25 | 13:1 | 0.06 | 0.135 |
| Aves (2Kg) | 0.18 | 19:1 | 0.08 | 0.014 |
| Ovino (20 Kg) | 1.50 | 35:1 | 0.05 | 0.075 |
| Caprino (50Kg) | 2.00 | 40:1 | 0.05 | 0.100 |
| Equino (450 Kg) | 10.00 | 50:1 | 0.04 | 0.400 |
| Conejo (3Kg) | 0.35 | 13:1 | 0.06 | 0.21 |
| Excretas humanas. | 0.40 | 3:1 | 0.06 | 0.25 |

Fuente: (Moreno, 2011).

La relación carbono-nitrógeno existente en la materia ingresada está relacionada directamente con la calidad y cantidad de biogás que es posible obtener de estas sustancias. Necesariamente tiene que existir una buena relación de 30 unidades carbono y una de nitrógeno, por lo que es de mucho cuidado la materia ingresada a la planta de biogas Tabla 4.

Se multiplica la cantidad de carbono orgánico que aporta cada materia por el peso en kilos que estamos ingresando al biodigestor para obtener una aproximación de mezcla carbono por unidad de nitrógeno. Normalmente las bacterias que generan biogás consumen 30 veces más carbono que hidrógeno por lo que la relación debería estar en un rango de 30:1 o a un máximo de 20:1, carbono, nitrógeno respectivamente.

1.1.2. Temperatura según fermentación

Para el proceso anaeróbico es muy importante la temperatura ya que está depende de la velocidad de reacción de los procesos biológicos y de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados; es de consideración la temperatura en el cual se genera la producción de biogás los microorganismos reaccionan de forma distinta a ciertos grados de temperatura variando la fermentación y consecuentemente la velocidad de producción del biogás, estos pueden ser calificados en 3 rangos psicrófilos (por debajo de 25°C), mesófilos (entre 25 y 45°C) y termófilos (entre 45 y 65°C) Tabla 5 (Moreno, 2011).

Tabla 5. Producción dinámica de biogás según la temperatura ambiente.

| Fermentación | Mínimo | Óptimo | Máximo | Tiempo de fermentación |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------------|
| Psicrófila | 4-10 °C | 15-18 °C | 20-25 °C | sobre los 100 días |
| Mesófila | 15-20 °C | 15-35 °C | 35-45 °C | 30-60 días |
| Termófila | 25-45 °C | 50-60 °C | 75-80 °C | 10-15 días |

Fuente: (Moreno, 2011)

Cómo se mencionó anteriormente, el aumento de temperatura incrementa la velocidad de descomposición o del proceso anaeróbico de los microorganismos, debido a que se presentan muchos problemas al elevar la temperatura como la toxicidad de los determinados compuestos como el nitrógeno amoniacal y ácidos grasos de cadenas largas, por lo tanto, no es posible elevar tanto el nivel de temperatura. Si se aumenta la temperatura serán potencialmente más tóxicos los compuestos involucrados en la generación del biogás. Existen técnicas de combinación de fases de digestión como la termófila de carga orgánica y mesófila con menor carga combinando estos sistemas se aprovechan las ventajas del sistema termófila (Moreno, 2011).

En este punto se puede aproximar la cantidad de fracción de molar del metano generado en n días, como se muestra en la Figura 1 presenta “la composición aproximada del biogás generado durante el desarrollo de las pruebas de biodegradabilidad anaerobia de la mezcla de residuos orgánicos bajo estudio” (Ladino, 2011).

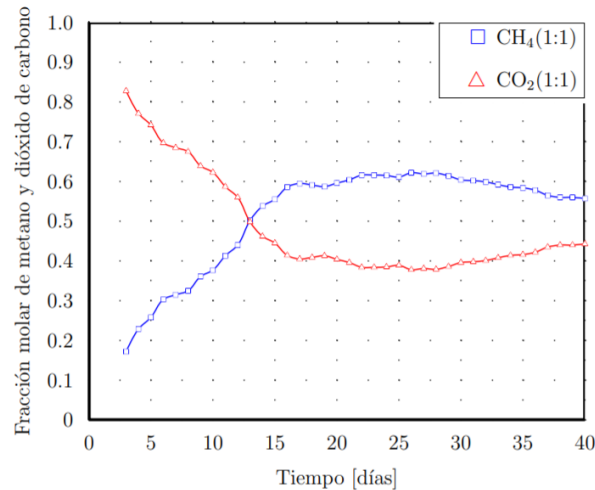


Figura 1. Fracción molar del metano en n días

Fuente: (Ladino, 2011)

1.1.3. Rango de pH y alcalinidad.

El rango ideal de alcalinidad es de entre el 5.5 y el 6.5 para ácido génicos y entre 7.8 y 8.2 para metalogénicos, el pH óptimo está entre 6.8 y 7.4 que es el pH en neutralidad.

Para que el proceso se desarrolle, el pH no debe estar bajo los 6 puntos, ni subir del 8 ya que éste determina la producción del biogás. Existen consecuencias cuando el nivel de pH tiende a tener valores inferiores a 6, este se convierte en un biogás muy pobre de metano causando menores cualidades energéticas. Los valores de pH deben ser controlados y mantenerse en la neutralidad para que los microorganismos cumplan su función adecuadamente (Moreno, 2011).

1.2. Ciclo cerrado de energía

Cuando hacemos referencia a un biocombustible se habla de obtener energía química a través de materia orgánica. La ventaja principal es que se aprovecha un ciclo natural el cual también contribuye a la reducción de gas metano en la atmósfera, favoreciendo el cuidado del planeta contra el efecto invernadero. La Figura 2 muestra el proceso de cambio de la materia orgánica, su producción hasta el retorno al medio ambiente. Este combustible no modifica la cantidad de CO₂ en la atmósfera ya que proviene de un ciclo cerrado.

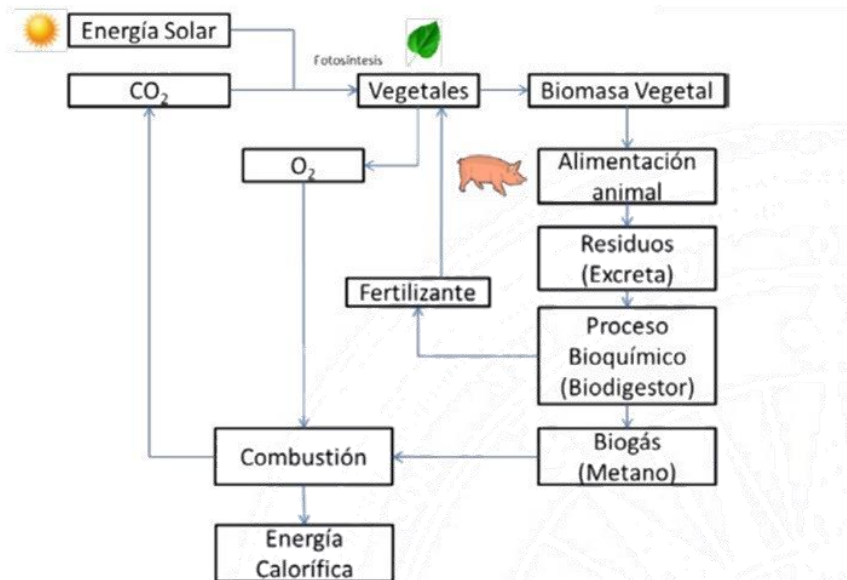


Figura 2. Ciclo de carbono resumido en un proceso de extracción de energía de biomasa.
Fuente: (Moreno, 2011)

El proceso para la obtención del biogás consiste en 4 etapas: hidrólisis, etapa fermentativa, etapa acetogénicas y etapa metal génica. Está compuesto principalmente de metano, este gas es un poco más liviano que el aire, la llama alcanza alrededor de 850°C y tiene una temperatura de ignición promedio de 700°C. El costo de implementación de este es más económico que el que funciona mediante la extracción de petróleo, por lo que está totalmente aprobada para la explotación masiva a un mínimo costo de operación y mantenimiento. Este biogás aprovecha el excremento de los animales y descomposición de los vegetales generando el gas metano para que se pueda aprovechar en la combustión de este.

CAPITULO 2.

2) MODELAMIENTO MATEMATICO DE SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE AGUA CON BIOGÁS Y GENERACIÓN DE BIOGÁS

2.2. Modelo ADM1

a ácidos grasos volátiles (VFA) e hidrógeno; acetogénesis de LCFA y VFA a acetato; y separe los pasos de metanogénesis del acetato y el hidrógeno / CO_2 . Las ecuaciones fisicoquímicas describen la asociación y disociación de iones, y la transferencia de gas-líquido. Implementado como un conjunto de ecuaciones diferenciales y algebraicas (DAE), hay 26 variables de concentración de estado dinámico y 8 variables algebraicas implícitas por recipiente o elemento del reactor. Implementado solo como ecuaciones diferenciales (DE), hay 32 variables de estado de concentración dinámica” (D.J. Batstone, 2002). Estas reacciones generadas se dividen por etapas de desintegración e hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Los residuos de partículas complejas inicialmente se desintegran en sustratos de partículas de carbohidratos, proteínas y lípidos, material inerte particulado y soluble (Cabrera, 2015)

2.2.1. Etapa de hidrólisis.

Siendo la hidrólisis la primera etapa de para el proceso de la digestión anaerobia, los compuestos orgánicos se degradan conjuntamente con los compuestos de alto peso molecular como las proteínas, lípidos y carbohidratos solubles, todos ellos se descomponen en compuestos orgánicos simples como aminoácidos, alcoholes, azúcares simples y ácidos grasos de cadena larga, por el actuar de enzimas extracelulares (Cabrera, 2015).

2.2.2. Etapa de acidogénesis.

“Las bacterias acidogénicas fermentativas de tipo facultativo trabajan para degradar los compuestos formados durante la hidrólisis y algunos monómeros solubles existentes en el sustrato a compuestos de menor peso molecular” (Cabrera, 2015). “La continuidad del proceso depende de la existencia de aceptores externos de electrones, esto para mantener condiciones de equilibrio termodinámico. Si éstos no existen ocurre entonces una reacción que produce ácido acético e hidrógeno, y además se producen otros ácidos grasos volátiles (AGV), como el propiónico, butírico” (Cabrera, 2015).

2.2.3. Etapa acetogénesis.

La continuación del proceso anaeróbico prosigue con los AGV que son los ácidos grasos volátiles, estos se convierten en ácido acético consiguiendo mecanizar las sustancias pues es el único ácido graso con esta característica. “Durante la acetogénesis, los microorganismos producen acetato,

CO₂ e H₂, o acetato e hidrógeno por oxidación anaerobia de propionato y de n-butirato” (Cabrera, 2015).

Frente a las ventajas que representa este procedimiento la digestión anaerobia tiene límites irremediables como la “descomposición parcial de la fracción orgánica, las bajas velocidades de reacción y grandes volúmenes de los digestores, la vulnerabilidad del proceso para diversos inhibidores, así como la presencia de constituyentes no deseados en el biogás generado.” (Cabrera, 2015)

2.2.4. Etapa de metanogénesis.

Es aquí donde los ácidos generados en la etapa de acidogénesis se convierten en compuestos finales simples como el esperado metano y dióxido de carbono, más conocido como biogás. Este compuesto aporta de gran manera al medio ambiente reduciendo la obtención de energía mediante fuentes fósiles reduciendo el efecto invernadero (Cabrera, 2015).

La “metanogénesis se lleva a cabo mediante dos vías, la hidrogenoclástica y la acetoclástica. En la primera las arqueas metanogénicas hidrogenotróficas utilizan hidrógeno como donante de electrones y dióxido de carbono como aceptor de electrones para la producción de metano. La segunda vía es la reacción más importante en la digestión anaerobia ya que es responsable de la producción del 70% del metano en el biogás, en esta las arqueas metanogénicas acetoclásticas utilizan acetato para producir metano y dióxido de carbono” (Lise Appels, 2011), (Cabrera, 2015).

Un sistema de digestión anaeróbica normalmente consiste en un reactor con un volumen de líquido y un espacio de cabeza de gas sellado a presión atmosférica con el gas eliminado para su utilización aguas abajo. El sistema que se demostrará aquí es un reactor completamente agitado con una sola entrada y flujo de salida, y volumen de líquido constante ($q_{out} = q_{in}$), Figura 4, (D.J. Batstone, 2002).

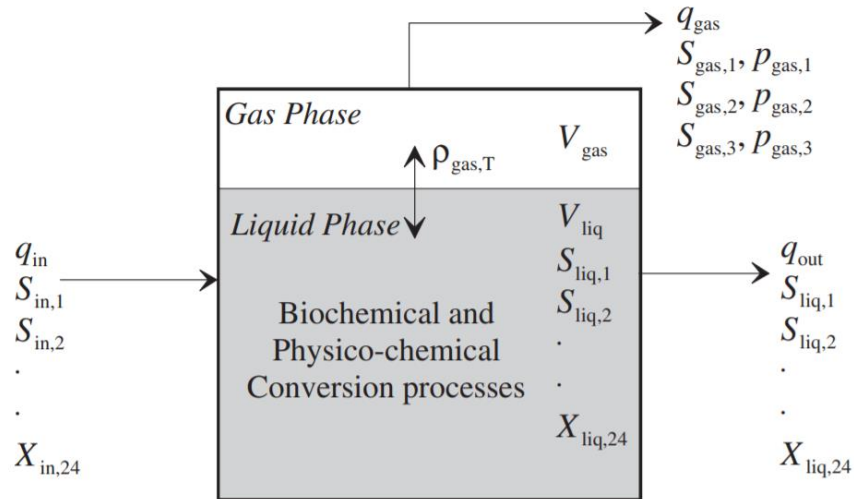


Figura 4. Sistema de digestión anaeróbica

Fuente: (D.J. Batstone, 2002)

Los términos vistos en la Figura 4 son la reacción, acumulación, entrada y salida, estos términos conforman el balance de masa de un sistema cerrado, la variación de estos dependen del flujo de afluente, efluente y de las propiedades físicas del sistema (Hernández Jaramillo, 2015), (D.J. Batstone, 2002). De acuerdo con el balance de masa de la materia ingresada los componentes líquidos son:

$$\frac{dS_{liq,i}}{dt} = \frac{q_{in} S_{i,in}}{V_{liq}} + \sum_{j=1-19} v_{i,j} \rho_j \quad (1)$$

Este es el término de variación de la especie que es igual a las razones de cambio del afluente y efluente más la razón de reacción.

Donde:

$S_{liq,i}$ = Concentración del compuesto i en la fase líquida presente en el interior del digestor.

$S_{i,in}$ = Concentración del compuesto i en el influente.

Q_{in} y Q_{out} = Caudal de entrada y de salida al digestor.

V_{liq} = Volumen de la fase líquida en el interior del digestor

$\nu_{i,j}$ = Coeficiente estequiométrico del compuesto i en el proceso j .

ρ_j = Tasa del proceso (D.J. Batstone, 2002).

2.3. Modelado matemático de transferencia de calor en caudal de agua.

Se han desarrollado soluciones analíticas para un cuerpo semi-infinito que está expuesto a diferentes condiciones de contorno en la superficie.

Estas soluciones analíticas a menudo se pueden aplicar a varios procesos que ocurren en escalas de tiempo muy cortas donde la onda de penetración térmica (δt) es pequeña en relación con la extensión espacial del objeto (G. F. Nellis, 2009).

$$\frac{T - T_{ini}}{T_s - T_{ini}} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) \quad (2)$$
$$q''_{x=0} = \frac{k}{\sqrt{\pi\alpha t}}(T_s - T_{ini})$$

En el gráfico se aprecia la ecuación que depende directamente de la temperatura de entrada y salida respecto al tiempo transcurrido.

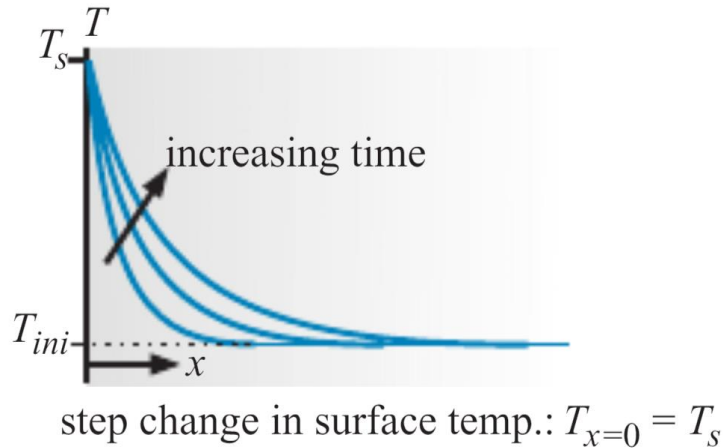


Figura 5. desarrollo soluciones analíticas para un cuerpo semi-infinito

Fuente: (G. F. Nellis, 2009)

Donde

T_{ini} -Temperatura inicial del solido [C] o [K]

T_s - temperatura de la superficie posterior al paso [C] or [K]

α – difusividad térmica [m^2/s]

x – distancia perpendicular a la superficie[m]

t – tiempo relativo al cambio (step occurred at $t=0$) [s]

2.3.1. Capacidad térmica:

Podemos medir la cantidad de energía transferida a un sistema como calor si conocemos la capacidad calórica o capacidad térmica que es la relación entre el calor aportado y la elevación de temperatura producida.

$$Q = m * c * \Delta T \quad (3)$$

Donde:

Q = calor.

m = masa de la sustancia.

c = calor específico del agua.

ΔT = variación de la temperatura.

Se obtiene la capacidad térmica, término que es necesario para calcular la potencia térmica con la siguiente formula:

$$P_t = \frac{Q}{\Delta t} \quad (4)$$

Donde:

P_t = potencia térmica

Δt = tiempo requerido

2.4. Balance de energía

“Representa el cambio en función del tiempo de la energía neta que se genera en el sistema para la producción de biogás. En esta ecuación este cambio de la energía neta es igual a la suma algebraica de términos que representan la producción y consumo de energía durante el desarrollo del proceso de digestión” anaerobia (Ladino, 2011).

$$E_{neta} = E_{term}^{prod} - E_{bomb}^{perd} \quad (5)$$

E_{term}^{prod} es la energía térmica producida mediante el aprovechamiento del biogás generado.
 E_{bomb}^{perd} es la energía perdida por el bombeo.

$$E_{term}^{prod} = Q_G P_{CH_4} H_C \eta_{term} \left[\frac{kWh}{dia} \right] \quad (6)$$

Donde Q_G es la producción de biogás [$Nm^3/día$], P_{CH_4} es la fracción molar de metano contenido en el biogás [%], H_C es el poder calorífico inferior del gas metano [kWh/Nm^3], η_{term} , es la eficiencia térmica del sistema utilizado para la generación de potencia y calor. Igualamos las ecuaciones de entrada y salida de energía y calculamos la energía obtenida (Ladino, 2011).

CAPITULO 3.

3) TRABAJO EXPERIMENTAL Y MONITOREO

3.1. Proceso para la generación de biogás y calentamiento de agua.

En este capítulo está dividido en varias secciones donde indicaremos todo el procedimiento realizado para la obtención del biogás utilizado en nuestra investigación.

También aquí se indica el funcionamiento del sistema de monitoreo con el que se obtiene los datos necesarios para el análisis del sistema de generación de biogás y para el calentamiento de agua.

3.2. Sistema de generación de biogás PUXIN.



Figura 6. Sistema biodigestor.
Fuente: (PUXIN, 2019)

Este sistema es fácil de ensamblar ya que el cliente lo puede hacer en 90 min tan solo con la ayuda de un video o simplemente el manual del sistema, sin la ayuda de herramientas especiales, *Figura 6*; en su presentación original viene embalado en una caja de cartón. Tiene una capacidad de producción de $\frac{2m^3}{d}$ con luz solar en invernadero o calefacción, *Figura 6*, (PUXIN, 2019).



*Figura 7. Ensamblado de sistema biodigestor.
Fuente: (PUXIN, 2019)*

Es muy seguro ya que se instala en el suelo, evitando que las personas o animales caigan dentro del recipiente por accidente. El recipiente de almacenamiento es de estructura macromolecular de diseño de policapa, sin riesgo de fugas (PUXIN, 2019).

El mantenimiento es básico y es muy fácil de usar, normalmente no es necesario limpiar el digestor. Está estratégicamente diseñado como una habitación solar para que la producción del gas se masifique y sea lo más eficiente posible (PUXIN, 2019).

La generación con este artefacto funciona con los desechos orgánicos que normalmente se generan en un hogar, el biogás puede ser utilizado como fuente de energía calórica o generación de energía; aparte de estos beneficios, tiene también un sistema que brinda fertilizantes para las plantas, esto contribuye a los cultivos con un suelo lleno de nutrientes que cualquier planta puede aprovechar
Figura 8, (PUXIN, 2019).

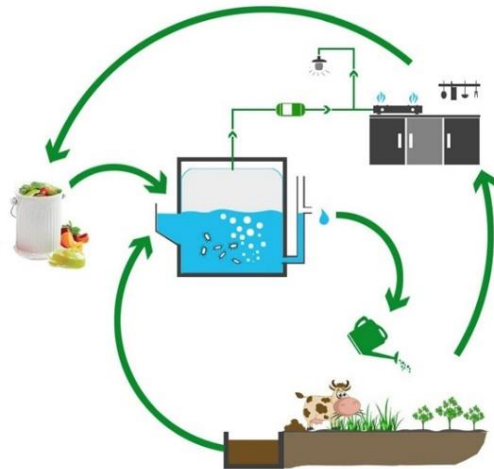


Figura 8. Sistema cerrado de biogás.

Fuente: (PUXIN, 2019)

Es una solución viable para las familias, restaurantes, hoteles, y resorts tratando los desechos orgánicos ahorrando facturas de energía eléctrica y gas, contribuyendo con el planeta aprovechando los desechos que estos generan a diario (PUXIN, 2019).

Normalmente la generación de energía térmica es mayormente ocupada en lugares donde el acceso a otros medios de generación calórica es escaso o de difícil acceso (Moreno, 2011).

3.2.1. Calefón.

Para nuestra investigación se utilizó un calefón de modelo JSD-B20 de procedencia China, tiene una capacidad de 7 litros con lo que puede cubrir la demanda de una familia promedio de 4 personas con dos fuentes de agua caliente.

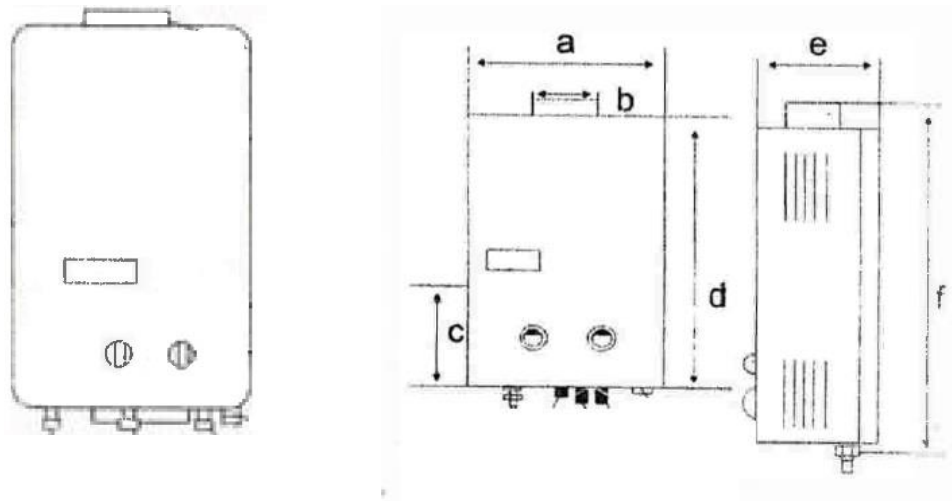


Figura 9. Exterior de calefón JSD-B20.

Fuente: (PUXIN, 2019)

Un calefón o calentador de agua es un dispositivo utilizado comúnmente para elevar la temperatura del agua para diferentes usos, ya sea limpieza o para la calefacción, normalmente se utiliza GLP, queroseno o carbón, electricidad, biogás etc.

Existen varios tipos de calentadores como, por ejemplo:

- calentador de punto
- calentador de paso (boiler)
- calentador solar
- calentador de acumulación
- caldera (para recirculación).

El tipo de calentador a ocupar varía según los requerimientos del usuario puede ser la temperatura del agua, costo de mantenimiento, costo del combustible, espacio físico utilizado, caudal del agua requerido, costo del calentador, etc.

3.2.2. Calentador de Agua JSD-14 PUXIN

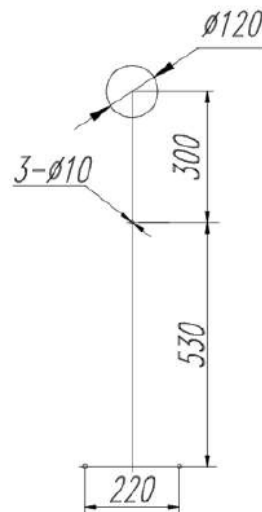
Este calentador es un calentador de paso de combustión completa con alta eficiencia, de amplio rango de ajuste de fuego, para poder utilizarlo a cualquier temperatura ambiente, con un diseño modular facilitando su instalación, además de un control de encendido automático el detectar flujo de agua.

La capacidad del calefón es de 7 litros por minuto a una temperatura de 25 grados centígrados, que puede cubrir la demanda de agua caliente en una vivienda de 4 a 5 personas promedio.

Tiene protección de sobrecalentamiento debido a las altas temperaturas que este puede generar durante su funcionamiento; en caso de pérdida de combustión accidental el canal de gas se cierra automáticamente.

El sistema de encendido consiste en pulsos eléctricos alimentados por 2 baterías de 1.5 VC y que entra en funcionamiento cuando se da paso al fluido de agua por las cañerías del calefón.

El intervalo de tiempo de funcionamiento es de 20 minutos para mayor seguridad. Sus medidas y partes se observan en la *Figura 10*.



JSD13/14-FEEB/C

Figura 10. Dimensiones exteriores calefón Puxin
Fuente: (PUXIN, 2019).



Ilustración 1. Apariencia real de calefón.

Fuente: CER UCACUE

3.3. Funcionamiento.

Un calefón funciona por medio del flujo de agua provocado la apertura de una válvula que permite el paso al gas y a la generación de una chispa que enciende el biogás para que por medio de la combustión calienta las cañerías que conducen el agua hacia la salida de agua caliente.

La temperatura que se necesite obtener a la salida del flujo de agua puede regular como también el flujo de agua en el calefón por medio de los reguladores de flujo. Eso quiere decir que mientras menos flujo la temperatura será mayor. La temperatura o la salida de biogás en la cámara de combustión también puede ser regulada según la temperatura que se requiera.

La capacidad máxima de nuestro calefón es de 7 litros por minuto, por podemos trabajar en el rango de entre 3 litros por minuto a 7 litros por minuto Ilustración 1.

Para la generación de Biogás el laboratorio de energías renovables cuenta con un equipo de la marca PUXIN que está conformado por los siguientes elementos:

3.3.1. Depósito de Desechos orgánicos.

El depósito tiene una estructura metálica cubierta de planchas de policarbonato que protegen a la bolsa donde se ingresa la materia y ayuda a impermeabilizar y sellar los olores producidos por el sistema biodigestor. Ilustración 2.



Ilustración 2. Depósito de desechos orgánicos triturados al sistema biodigestor.

3.3.2. Cañerías.

Las cañerías son usadas para alimentar al biodigestor con agua y al calefón, además existen mangueras que conducen el biogás generado hacia el medidor de biogás y el generador de presión terminando en la alimentación de gas del calefón.

3.3.3. Generador de presión de gas.

Este equipo permite generar la presión de gas necesaria para el calefón y requiere una alimentación de 120V en corriente alterna Ilustración 3.



Ilustración 3. Equipo generador de presión de gas.

3.3.4. Medidor de flujo de gas.

Este medidor nos permite mantener el control de la cantidad de biogás generado que pasa por las mangueras al ser usado en cualquiera de los dispositivos que funcionan con biogás dando la cantidad de biogás consumido en metros cúbicos Ilustración 4.



Ilustración 4. Medidor de flujo de biogás.

3.3.5. Bomba de agua.

El sistema de bombeo es utilizado para que exista la circulación de la materia que se encuentra dentro de nuestro biodigestor y se pueda mezclar con la materia que va ingresando en el transcurso del tiempo. Esta bomba tiene una alimentación de 120 voltios alternos y una capacidad de 25 Litros por minuto Ilustración 5.



Ilustración 5. Bomba de recirculación del sistema biodigestor.

3.3.6. Sistema de drenaje.

El sistema de drenaje permite que el exceso de líquido del depósito de materia orgánica sea evacuado y no produzca malos olores Ilustración 6.



Ilustración 6. Sistema de desagüe del sistema biodigestor.

3.3.7. Licuadora industrial.

Esta licuadora es de tipo industrial que se alimenta a 220 AC y permite que la materia orgánica de tipo sólido sea triturada con la mezcla de agua y poder obtener materia en estado líquido para facilitar su ingreso al biodigestor Ilustración 7.



Ilustración 7. Licuadora de alimentos y desechos orgánicos industrial

3.4. Indicaciones para inicio de generación de biogás.

Según la investigación de la Facultad de ciencias Agrarias de la universidad del Cauca, Colombia; acerca del estiércol de vaca como inóculo en la digestión anaeróbica termófila de residuos sólidos urbanos dice que:

“El estiércol de vaca empleado como inóculo presenta una elevada actividad metalogénica con un tiempo de aclimatación rápido de cerca de 15 días.” (Ladino, 2011)

El estiércol es recolectado en la Hacienda La Dolorosa ubicada en la parroquia Tarqui, de la provincia del Azuay. En este lugar se realiza la producción y almacenamiento de leche para su venta a empresas que procesan esta materia prima en productos como: queso, leche saborizada, etc.

El orden del proceso a seguir para la generación de biogás es:

3.4.1. Recolección de estiércol

Como primer paso es recolecta 500kg de estiércol de vaca obtenidos de la hacienda La Dolorosa de un aproximado de 40 vacas, siendo recolectado por 14 días continuos en depósitos que llevan aproximadamente 60 kg cada uno Ilustración 8.



Ilustración 8. Hacienda La Dolorosa

3.4.2. Traslados de tanques

Luego de ser trasladados los tanques que almacenan el estiércol, se deposita el material en la planta de generación, con fluido de agua en el compartimento de ingreso para que facilite la inserción de este. Además, se ingresa 2 bolsas de abono orgánico concentrado de textura polvorienta que

permite la iniciación del sistema y es indicado por el manual de uso que otorga Puxin Ilustración 9.



Ilustración 9. Ingreso de estiércol en el biodigestor.

3.4.3. Mezcla de materia orgánica.

Durante 10 días utilizamos el sistema de bombeo, permite que el fluido que está a 50cm del piso en el biodigestor pueda mezclarse, en nuestro caso se mezcla con agua durante este tiempo para mejorar el pH de la materia Ilustración 10.



Ilustración 10. Sistema de recirculación de agua de la planta del biodigestor

3.4.4. Alimentación de biodigestor.

Ya transcurridos los 15 días empezamos a alimentar a las bacterias que permitirán la generación de biogás. Para el ingreso de desechos orgánicos debemos obtener los datos de pH para regular el mismo con el ingreso de alimentos que nos permita mantenerlo entre los 6.5 y 7.5 ya que esto es fundamental para la calidad del biogás generado y obtener gas combustible. Los desperdicios orgánicos deben ser estar en estado líquido para poder ser ingresados a la planta. Ilustración 11.




Ilustración 11. Materia triturada en la licuadora industrial Puxin.





3.5. Sistema de monitoreo.

Para el monitoreo del funcionamiento del biodigestor y del calentamiento de agua se utilizan los siguientes dispositivos: *Tabla 6*. Dispuestos en la planta como se muestra en la *Figura 11*.

Tabla 6. Imágenes de los Sensores instalados en sistema Biodigestor.

Fuente:

| | |
|-------------------|--|
| Arduino Mega 2560 |  |
|-------------------|--|

| | |
|------------------------------------|---|
| Node mcu |  |
| Sensor de temperatura Dallas 18B20 |  |
| pH sensor |  |
| Sensor de caudal YF-S201 |  |

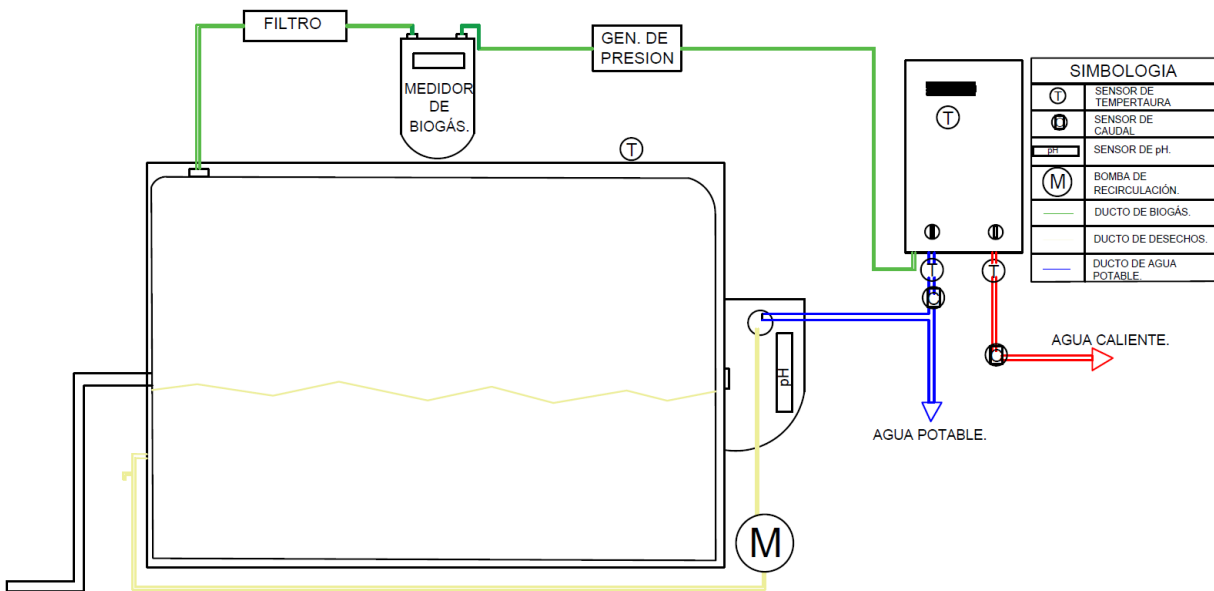


Figura 11. Disposición de sensores conectados en la planta de biogás

3.5.1. Arduino Mega 2560

“La Mega 2560 es una placa electrónica basada en el Atmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de

alimentación, un conector ICSP, y un botón de reset.” Figura 12. “Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o a la corriente con un adaptador de CA a CC o una batería para empezar. La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de los shield para el Uno y las placas anteriores Duemilanove o Diecimila”. (Crespo, n.d.)

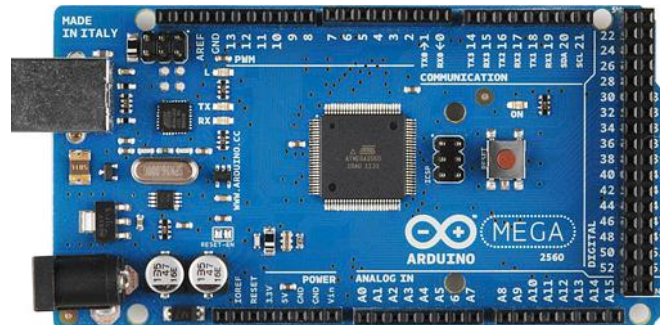


Figura 12 Arduino Mega ADK 2560.

Fuente: (Crespo, n.d.)

ESPECIFICACIONES ARDUINO MEGA 2560

- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltaje Operativo: 5V
- Tensión de Entrada: 7-12V
- Voltaje de Entrada(límites): 6-20V
- Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 14 proveen salida PWM)
- Pines análogos de entrada: 16
- Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA
- Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA
- Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)
- SRAM: 8KB
- EEPROM: 4KB
- Clock Speed: 16 MHz (Crespo, n.d.)

3.5.2. Node mcu

La NodeMCU (Unidad de Microcontrolador de Nodo) Es un dispositivo electrónico de desarrollo de software, de código abierto que entre sus principales características destaca la utilización del modulo ESP8266 el cual contiene las principales partes de una computadora moderna CPU, RAM, redes wifi, lo que hace muy atractivo a los usuarios del mismo, orientado para el desarrollo de equipos IoT (IBM, 2020).

El esquema de pin NodeMCU:

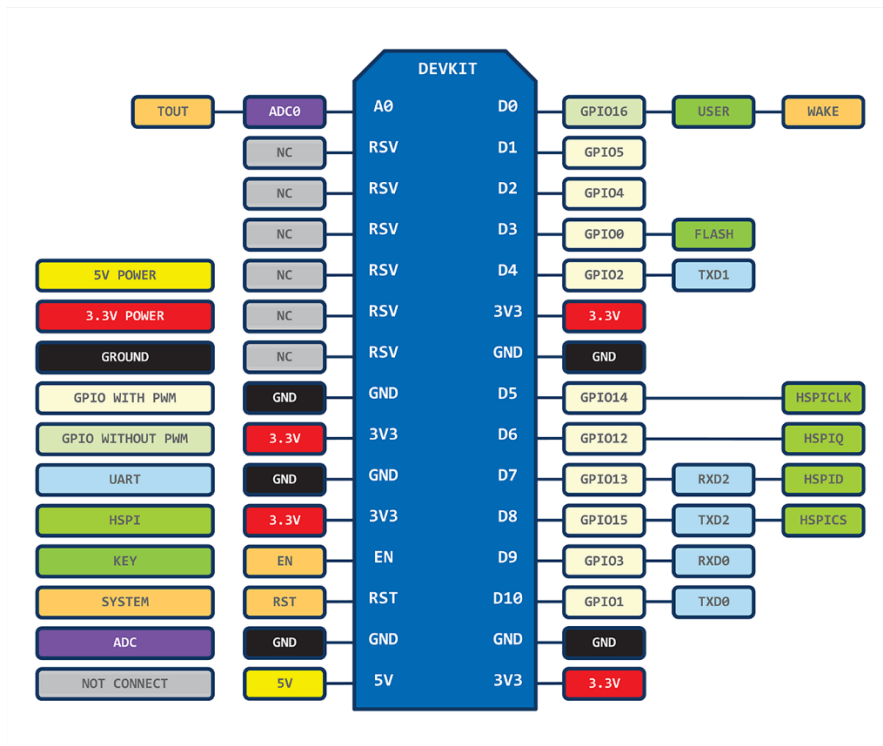


Figura 13. Esquema de pin NodeMCU

Fuente: (IBM, 2020).

3.5.3. Dallas 18B20

El DS18B20 es un sensor de temperatura que puede medir temperaturas entre -55°C y 125°C.

Para temperaturas entre -10°C y 85°C podemos tener $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Para el resto de las temperaturas entre -55°C y 125°C el error es de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (Hernández, 2020).



Figura 14. Margen de error de medición del sensor d18B20

Fuente: (Hernández, 2020)

El margen de error del sensor es de 0.5 de entre -10°C y 85°C por lo que si la lectura es 20°C el valor real estará oscilando entre 19.5°C y 20.5°C al sobrepasar estos valores el margen de error incrementa a 2°C con referencia a la lectura dada por el sensor Figura 14.

El sensor tiene la capacidad de identificarse individualmente con una dirección única por cada sensor además de tener una memoria de 64-bit (Hernández, 2020). Las características de este sensor se pueden apreciar en la siguiente Tabla 7.

| CARACTERÍSTICA | VALOR |
|-------------------------|--|
| Voltaje de alimentación | 3V a 5,5V |
| VDD | voltaje de alimentación |
| GND | Tierra |
| DQ | Datos |
| Rango de temperaturas | -55°C a 125°C |
| Error (-10°C a 85°C) | ±0,5°C |
| Error (-55°C a 125°C) | ±2°C |
| Resolución programable | 9-bit, 10-bit, 11-bit o 12-bit (default) |

Tabla 7 Características sensor Dallas 18B20
Fuente: (Hernández, 2020)

“Lo más importante de esta parte es la disposición de los pines. Para cada encapsulado encontramos una disposición diferente. Existen tres encapsulados: TO-92, SO y μ SOP. El más adecuado para prototipar con Arduino es el TO-92 por su fácil conexión en la una protoboard” (Hernández, 2020), Figura 15.

Pin Configurations

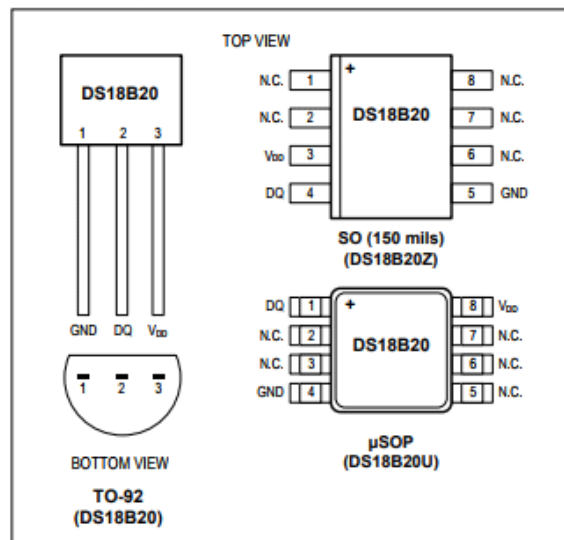


Figura 15 Tipos de encapsulado de Dallas 18B20

Fuente: (Hernández, 2020)

VDD: es la tensión de alimentación, es decir, que voltaje necesita para que el sensor de temperatura DS18B20 funcione correctamente. Podemos alimentar desde 3V a 5,5V. (Hernández, 2020).

GND: es la toma de tierra. A este pin conectaremos la referencia 0V de nuestro circuito.

DQ: es el pin de datos. Por este pin es por donde se recibirán todos los datos en el protocolo 1-Wire. Este protocolo tiene una ventaja. Como su propio nombre indica (1-Wire significa un cable en español) solo es necesario utilizar un cable para conectar varios sensores de temperatura DS18B20. Por lo tanto, solo utilizaremos 1 pin de Arduino para conectar múltiples sensores (Hernández, 2020).

El sensor Dallas 18B20 es un sensor digital el cual no requiere calibración, sin embargo, el margen de error está reflejado en la siguiente imagen Figura 16.

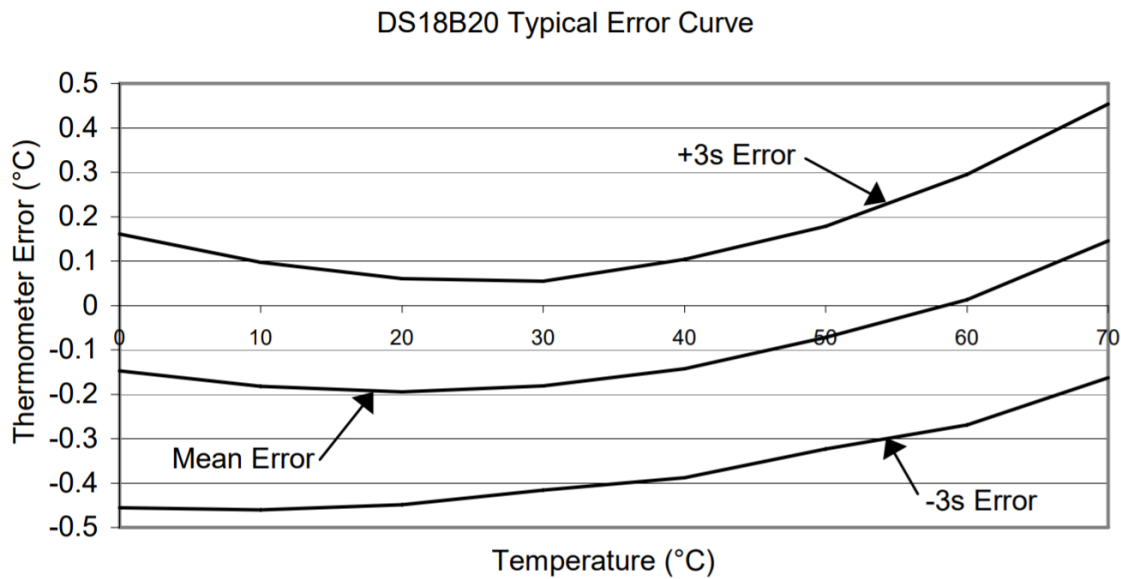


Figura 16. Margen de error de Dallas 18B20

3.5.4. Sensor de pH

Los medidores de pH son instrumentos científicos utilizados para medir la actividad y la concentración de iones de hidrógeno en soluciones a base de agua, con el objetivo de indicar su

acidez o alcalinidad expresada como valores de pH. Encuentran aplicación en el tratamiento de aguas y aguas residuales, productos farmacéuticos, químicos y petroquímicos, alimentos y bebidas, minería y procesos agrícolas, por mencionar algunos (Engineering, 2020).

Los medidores de pH se componen principalmente de una sonda y una unidad de procesamiento que interpreta los datos de la sonda y los muestra en un formato legible para humanos. El medidor de pH esencialmente mide la diferencia en el potencial eléctrico entre un electrodo de pH y un electrodo de referencia. Como resultado de esto, los medidores de pH a veces se denominan "medidores de pH potenciométricos" (Engineering, 2020).



Figura 17 Sensor de pH

Fuente: (Caballero, 2020)

- Voltaje del módulo: 5.00V
- Tamaño del módulo: 43 x 32 mm (1.69x1.26 ")
- Rango de medición: 0 - 14PH
- Temperatura de medición: 0-60 °C
- Precisión: $\pm 0.1\text{pH}$ (25 °C)
- Tiempo de respuesta: ≤ 1 min
- Sensor de pH con conector BNC
- Interfaz pH2.0 (parche de 3 pies)
- Potenciómetro de ajuste de ganancia
- LED indicador de encendido

Este dispositivo respondía a la siguiente Figura 18 por lo que su calibración se basó en las pruebas realizadas con distintos pH comprobados en el laboratorio.

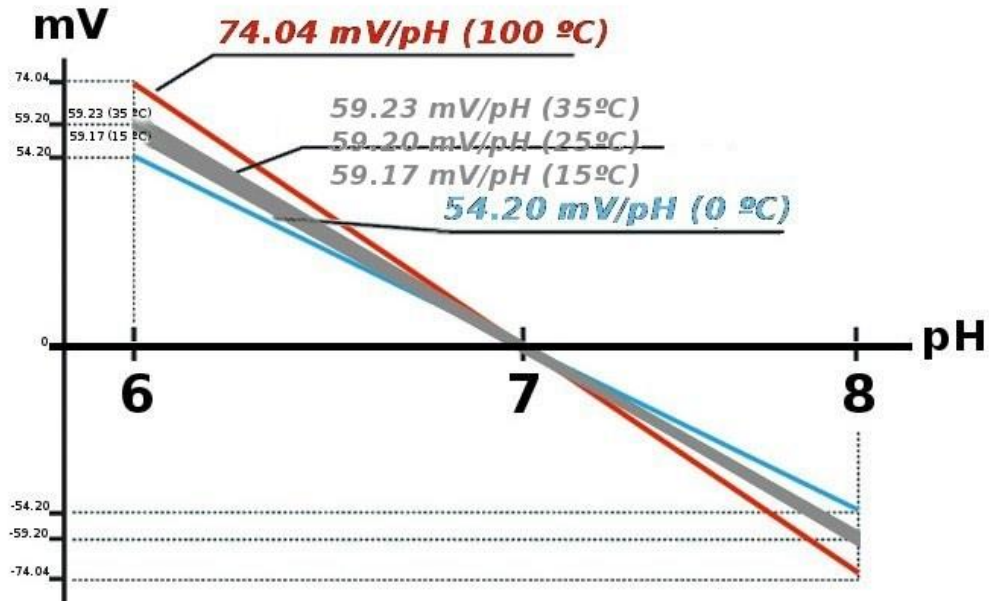


Figura 18. relación pH respecto a mV
Fuente: (Engineering, 2020).

3.5.5. YF-S201

Este sensor se encuentra en línea con su línea de agua y contiene un sensor de molinete para medir cuánto líquido se ha movido a través de él. Hay un sensor de efecto hall magnético integrado que emite un pulso eléctrico con cada revolución. El sensor de efecto hall está sellado de la tubería de agua y permite que el sensor permanezca seguro y seco (HIDALGO, 2015).



Figura 19 Sensor YF-S201.

Fuente: (HIDALGO, 2015).

El sensor viene con tres cables: rojo (alimentación de 5-24 V CC), negro (tierra) y amarillo (salida de pulso de efecto Hall). Al contar los pulsos desde la salida del sensor, puede calcular fácilmente el flujo de agua. Cada pulso es de aproximadamente 2.25 mililitros. Este no es un sensor de precisión, y la frecuencia del pulso varía un poco dependiendo del caudal, la presión del fluido y la orientación del sensor. Necesitará una calibración cuidadosa si se requiere una precisión superior al 10%.

Tenemos como ejemplo un boceto Arduino que se puede usar para probar rápidamente el sensor, calculará el flujo aproximado de agua en litros / hora (HIDALGO, 2015).

La señal de pulso es una onda cuadrada simple, por lo que es bastante fácil de registrar y convertir en litros por minuto utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Frecuencia de pulso} \frac{(\text{Hz})}{7.5} = \text{velocidad de flujo} \frac{L}{\text{min}}$$

Características:

- Modelo: YF-S201
- Tipo de sensor: efecto Hall
- Voltaje de trabajo: 5 a 18V DC (voltaje de trabajo mínimo probado 4.5V)
- Consumo de corriente máximo: 15 mA a 5 V
- Tipo de salida: 5V TTL
- Caudal de trabajo: 1 a 30 litros / minuto
- Rango de temperatura de trabajo: -25 a + 80 °C
- Rango de humedad de trabajo: 35% -80% RH
- Precisión: ± 10%
- Presión máxima de agua: 2.0 MPa
- Ciclo de trabajo de salida: 50% + -10%
- Tiempo de subida de salida: 0.04us

- Tiempo de caída de salida: 0.18us
- Características del pulso de la tasa de flujo: Frecuencia (Hz) = 7.5 * Velocidad de flujo (L / min)
- Pulsos por litro: 450
- Durabilidad: mínimo 300,000 ciclos
- Longitud del cable: 15 cm
- Conexiones de tubería nominal de 1/2 ", diámetro exterior de 0.78", 1/2 "de rosca
- Tamaño: 2.5 "x 1.4" x 1.4 "
- Detalles de conexión:
- Cable rojo: + 5V
- Cable negro: GND
- Cable amarillo: salida PWM. (HIDALGO, 2015).

El dispositivo fue calibrado según la curva de calibración de su ficha técnica Figura 20.

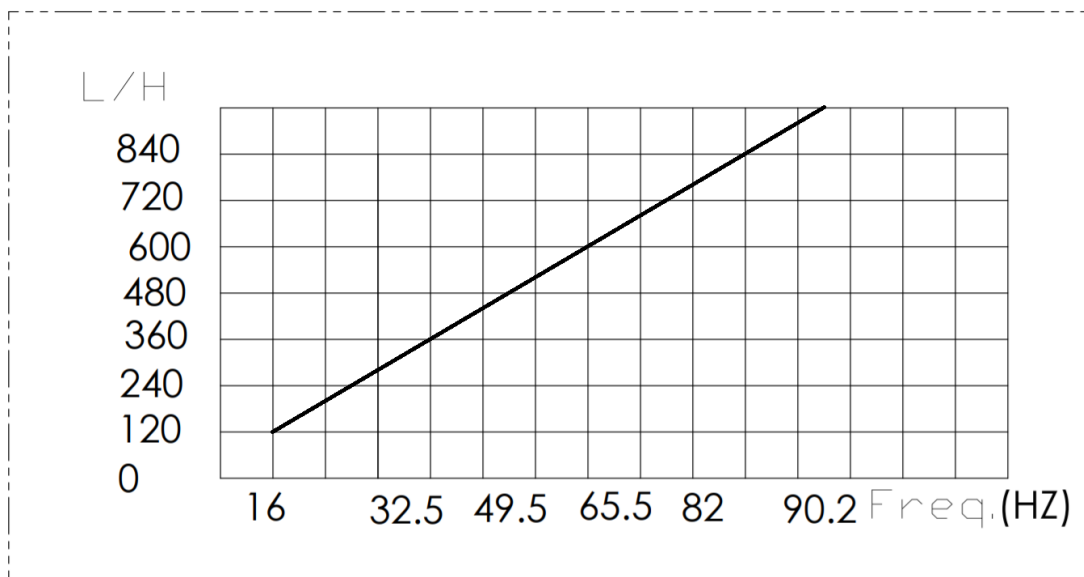


Figura 20. Curva de calibración YF-S201
Fuente: (HIDALGO, 2015).

3.5.6. Ubidots.

Ubidots es una plataforma de IoT (Internet de las cosas) que habilita la toma de decisiones a empresas de integración de sistemas a nivel global. Este producto permite enviar datos de sensores a la nube, configurar tableros y alertas, conectarse con otras plataformas, usar herramientas de analítica y arrojar mapas de datos en tiempo real (UBIDOTS).

Para realizar el sistema de monitoreo se utilizó un Arduino Mega 2560 y un nodemcu. Estos dispositivos fueron programados en la plataforma de Arduino. Con la ayuda de una página llamada ubidots para la representación de datos enviados. La adquisición de datos fue hecha por parte del Arduino Mega donde se colocó sensores de temperatura, pH y caudal. Este se comunica mediante comunicación serial con el dispositivo nodemcu, este se encarga de pasar los datos recibidos y subirlo hacia la página ubidots

Aquí es donde se almacenan los datos y se muestran en tiempo real según vayan cambiando. Basándose en un ejemplo de parte de la librería impartida por ubidots fueron enviados los datos como la página requiere, dividiendo por etiquetas lo que corresponde a cada sensor. Para la adquisición de datos se realizó funciones que correspondían a cada sensor haciendo que me devuelvan el valor medido para posteriormente enviar esos datos nodemcu.

3.5.7. Plataforma Visual.

El programa Ubidots nos permite tener una plataforma amigable donde podemos observar los datos en tiempo real desde cualquier parte del mundo conde contemos con servicio de internet, en la siguiente imagen se muestra nuestra plataforma. (UBIDOTS).

La plataforma se basa en la obtención de datos de módulos electrónicos de distintos tipos de lenguaje de codificación, hacia un servidor en general, gracias a la tecnología (MQTT), para luego mediante el protocolo HTTP conseguir de una manera fácil la visualización de todos los datos obtenidos, de manera mucho más amigable y fácil de usar Ilustración 12.

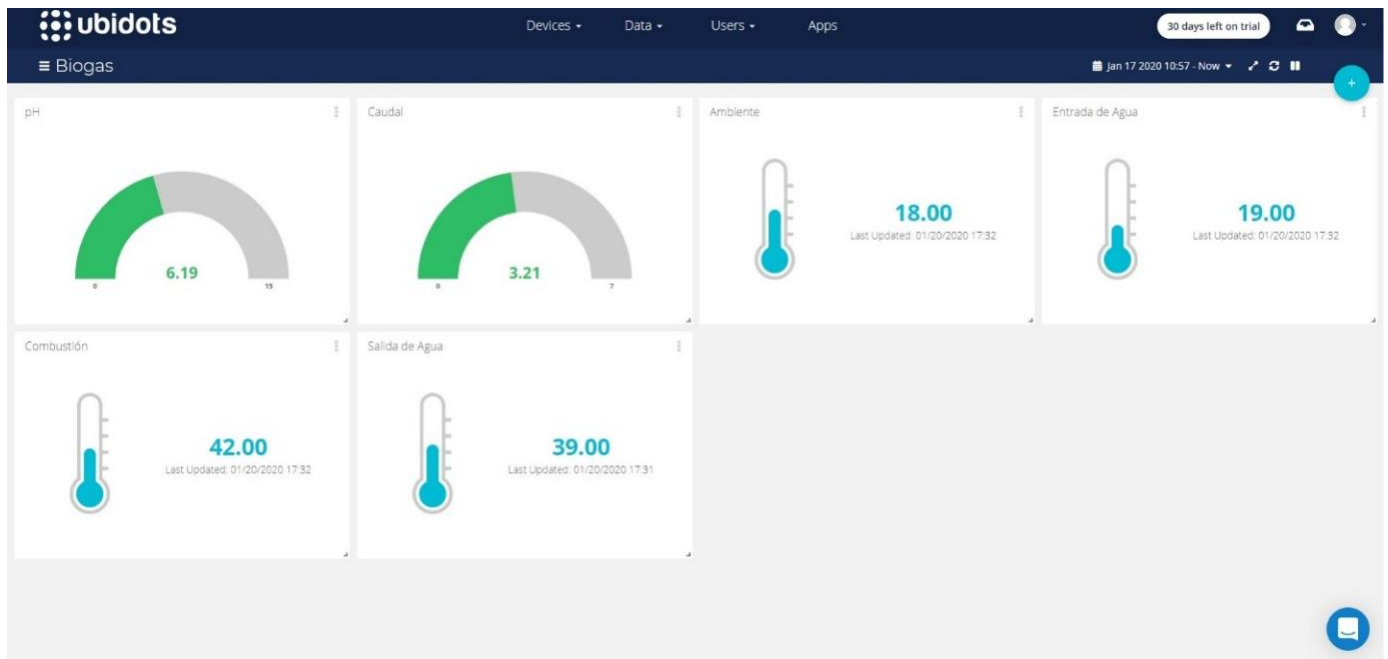


Ilustración 12. Plataforma visual de nuestro sistema de monitoreo

3.6. Combustión de biogás para calentamiento de agua por medio de calefón Puxin.

En este subtema se indicarán los detalles durante el uso del biogás para el calentamiento de agua por medio del calefón Puxin. Este equipo está fabricado específicamente para la combustión de biogás con una capacidad máxima de 7 litros por minuto.

3.6.1. Crecimiento de la bolsa que reúne biogás

Para iniciar aseguramos de la cantidad de biogás generado en el biodigestor Puxin según el crecimiento de la bolsa que reúne el mismo. La calidad de biogás depende directamente del nivel de pH de la materia que reposa en el fondo de la bolsa *Figura 21*.



Figura 21. Crecimiento de bolsa de almacenamiento de gas

3.6.2. Válvula de paso de biogás.

Para continuar se abrieron las válvulas de paso de gas hacia el medidor de biogás. La línea marcada en la válvula indica la dirección del biogás, significa que para que el paso esté abierto debe estar paralelo al paso de la manguera Ilustración 13.



Ilustración 13. Válvula de paso de biogás.

3.6.3. Generador de presión de biogás.

Se encendió el generador de presión de biogás para dar la presión suficiente en el calefón tenga el flujo de biogás suficiente para la combustión adecuada del mismo Ilustración 14.



Ilustración 14. Generador de presión de biogás

3.6.4. Revisión de fugas.

Se aseguró de forma auditiva que no existan fugas en las cañerías de nuestro sistema.

3.6.5. Encendido del calefón.

El calefón tiene un encendido automático al paso de agua. Para ello damos paso al paso de agua para su encendido. En caso de no que no se genere chispa, revisar el estado de las baterías que alimentan al sistema de encendido automático Ilustración 15.



Ilustración 15. Encendido del calefón.

3.6.6. Regulación de perillas de paso de agua y de biogás.

Se reguló el paso de agua o el paso de gas según lo requerido en base a la cantidad de agua y temperatura que se necesite obtener al final de la ductería Ilustración 16.



Ilustración 16. Perillas de paso de agua y de biogás.

Con estos pasos realizados se consiguió ya obtener agua caliente; la temperatura debe ser controlada considerando la temperatura del agua de ingreso, ya que, si consideramos la temperatura promedio del agua en la Amazonía podemos usar menos biogás disminuyendo la presión en el generador de presión o la cantidad de paso de biogás en el calefón, de esta manera podremos calentar lo necesario según el requerimiento del usuario y optimizar el biogás generado.

CAPITULO 4.

4) RESULTADOS, DISCUSIÓN, VALIDACIONES.

En el capítulo 4 se calcula la energía calórica generada por la planta de biogás durante un periodo de tiempo obteniendo los resultados en KWh/día; el procedimiento se lleva a cabo mediante la ayuda de un software matemático llamado EES (Engineering Equation Solver) que contiene herramientas con funciones matemáticas y termo físicas que pueden resolver e ilustrar de manera eficiente ecuaciones algebraicas no lineales acopladas. Una vez obtenidos los resultados con esos datos se aproxima el funcionamiento de la planta de biogás con diferente temperatura tanto del agua como del ambiente y un pH controlado.

4.1. Resultados teóricos

4.1.1. Cálculo de transferencia de calor generada por el calefón a las tuberías.

Para el cálculo se considera los parámetros tomados de pH y la temperatura para la generación de biogás en el biodigestor. Estos respectivamente influyen en la calidad y tiempo de generación del biogás.

Se consideró la función de transferencia de calor al sensor de contacto de temperatura colocado para medir la temperatura de salida y entrada del agua, así como también la temperatura de combustión; la misma que será de utilidad para calcular la potencia calórica y la calidad del biogás.

- 1) Se consideró la función de transferencia de calor según el tiempo y el material. En este caso se obtuvo datos del datasheet del PVC de $\frac{3}{4}$ utilizada en la conexión hidráulica al calefón para conocer la función de transferencia *Figura 22*.

| Diámetro | CÓD. | Diám. exterior | Espesor | Diám. interior | Presión de trabajo | | |
|-----------------|--------|----------------|---------|----------------|--------------------|------|--------------------|
| | | mm | mm | mm | psi | MPa | kg/cm ² |
| $\frac{1}{2}$ | 926092 | 21.34 | 3.73 | 13.88 | 420 | 2.90 | 29.5 |
| $\frac{3}{4}$ | 926094 | 26.67 | 3.91 | 18.85 | 340 | 2.34 | 23.9 |
| 1 | 926091 | 33.40 | 4.55 | 24.30 | 320 | 2.21 | 22.5 |
| 1 $\frac{1}{4}$ | 926090 | 42.16 | 4.85 | 32.46 | 260 | 1.79 | 18.3 |
| 1 $\frac{1}{2}$ | 926089 | 48.26 | 5.08 | 38.10 | 240 | 1.65 | 16.9 |
| 2 | 926093 | 60.32 | 5.54 | 49.24 | 200 | 1.38 | 14.1 |

Figura 22. Especificaciones técnicas tubo PVC

La ecuación de transferencia de calor (2) se compone de:

$$\frac{T - T_{ini}}{T_s - T_{ini}} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right)$$

$T_i=19[\text{C}]$

$T_s=44.5 [\text{C}]$

$\alpha=0.00008 [\text{m}^2/\text{s}]$

$x=0.00391 [\text{m}]$

{time=1 [s]}

$T=\text{semiinf1}(T_i,T_s,\alpha,x,\text{time})$

Siendo

T_i - temperatura inicial del sólido [C]

T_s - temperatura de la superficie posterior al paso [C]

α - difusividad térmica [m^2 / s]

x - distancia perpendicular desde la superficie [m]

time - tiempo relativo al cambio de paso (el paso ocurrió en $t = 0$) [s]

El parámetro de α es la difusividad térmica considerada del PVC la cual es $0.08 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Con valores variados de tiempo, “time” se calcula la temperatura mencionada en el tiempo dado aproximándose los datos con la tabla de valores obtenidos en la lectura real.

Tabla 8. Temperatura del sensor de salida de agua en función del tiempo

| | time [s] | T |
|--------|-------------|-------|
| Run 1 | 0.01 | 19.05 |
| Run 2 | 0.06444 | 24.7 |
| Run 3 | 0.1189 | 28.43 |
| Run 4 | 0.1733 | 30.67 |
| Run 5 | 0.2278 | 32.19 |
| Run 6 | 0.2822 | 33.3 |
| Run 7 | 0.3367 | 34.15 |
| Run 8 | 0.3911 | 34.84 |
| Run 9 | 0.4456 | 35.4 |
| Run 10 | 0.5 | 35.88 |
| Run 11 | 1.1 | 38.59 |
| Run 12 | 1.2 | 38.83 |
| Run 13 | 1.3 | 39.05 |
| Run 14 | 1.4 | 39.24 |
| Run 15 | 1.5 | 39.42 |
| Run 16 | 1.6 | 39.58 |
| Run 17 | 1.7 | 39.72 |
| Run 18 | 1.8 | 39.85 |
| Run 19 | 1.9 | 39.98 |
| Run 20 | 0.5 | 35.88 |
| Run 21 | 0.85 | 37.8 |
| Run 22 | 1.2 | 38.83 |
| Run 23 | 1.55 | 39.5 |
| Run 24 | 1.9 | 39.98 |
| Run 25 | 2.25 | 40.34 |
| Run 26 | 2.6 | 40.62 |
| Run 27 | 2.95 | 40.86 |
| Run 28 | 3.3 | 41.05 |
| Run 29 | 3.65 | 41.22 |
| Run 30 | 4 | 41.37 |

La tabla *Tabla 8* se observa el cambio de temperatura en función del tiempo, este tiempo es el estimado para que el PVC llegue a tomar la temperatura del agua que corre en su interior y exista una temperatura uniforme a la salida del caudal del agua.

Aplicando la ecuación proporcionada en el programa EES de transferencia calórica, los datos de datasheet, los parámetros medidos en las pruebas se calcula la curva de toma de datos de temperatura del agua de salida de nuestro calefón *Figura 23*. Cabe destacar que este sensor se encuentra en la entrada y salida de agua del calefón.

$$T_i=19[C]$$

$$T_s=44.5 [C]$$

$$\alpha=0.00008 [m^2/s]$$

$$x=0.00391 [m]$$

{time=1 [s]}

T=semiinf1(T_i,T_s,alpha,x,time)

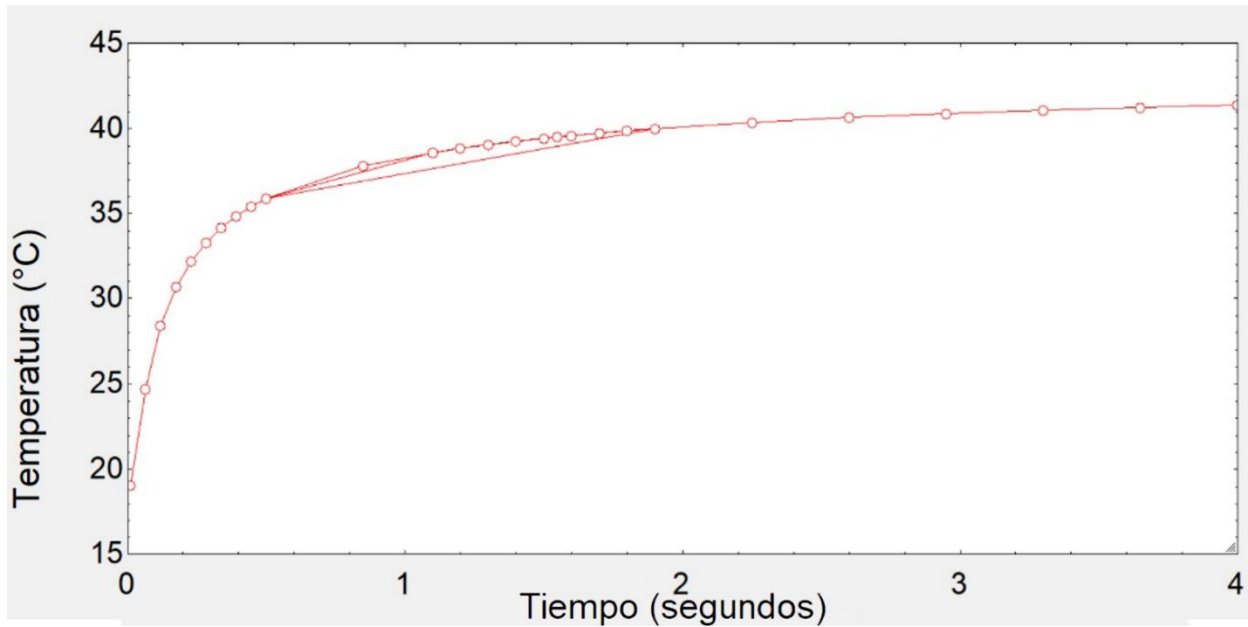


Figura 23. Curva de función de transferencia de calor al sensor de salida de agua del calefón.

4.1.2. Potencia calórica

Para calcular la potencia calórica generada necesaria para calentar el agua a una temperatura ideal de 38°C es necesario calcular primero la capacidad térmica.

$$Q = m * C_e * (\Delta T) \quad (3)$$

Donde

$Q =$ Capacidad térmica

$m =$ masa de sustancia considerada [Kg]

$C_e =$ Calor específico

$\Delta T =$ Temperatura final – temperatura inicial [s]

Se obtiene la capacidad térmica, término que es necesario para calcular la potencia térmica con la siguiente fórmula:

$$P_t = \frac{Q}{\Delta t} \quad (4)$$

Donde:

$P_t = potencia\ térmica$

$\Delta t = tiempo\ requerido$

Con la ayuda del programa EES calculamos con estos parámetros. Dando como resultado

$m=0.03083[\text{kg}]$

$C_e=4180[\text{J}/\text{kg}\cdot\text{C}]$

$t_i=19[\text{C}]$

$t_s=43[\text{C}]$

$Q=m\cdot C_e\cdot(t_s-t_i)$

$tiempo=3600[\text{s}]$

$P_t=((m\cdot C_e\cdot(t_s-t_i))/tiempo)$

$t_c=Q/P_t$

La masa del agua considerada es la que se encuentra dentro de la cámara de combustión en un instante de tiempo, se obtiene de tomando los datos reales medidos en L/min para 60 segundos, al realizar la conversión quedan los datos por segundo. $1.85/60 = 0.03083$.

$Q= 3093 \text{ J}$

$P_t=3093 \text{ W}$

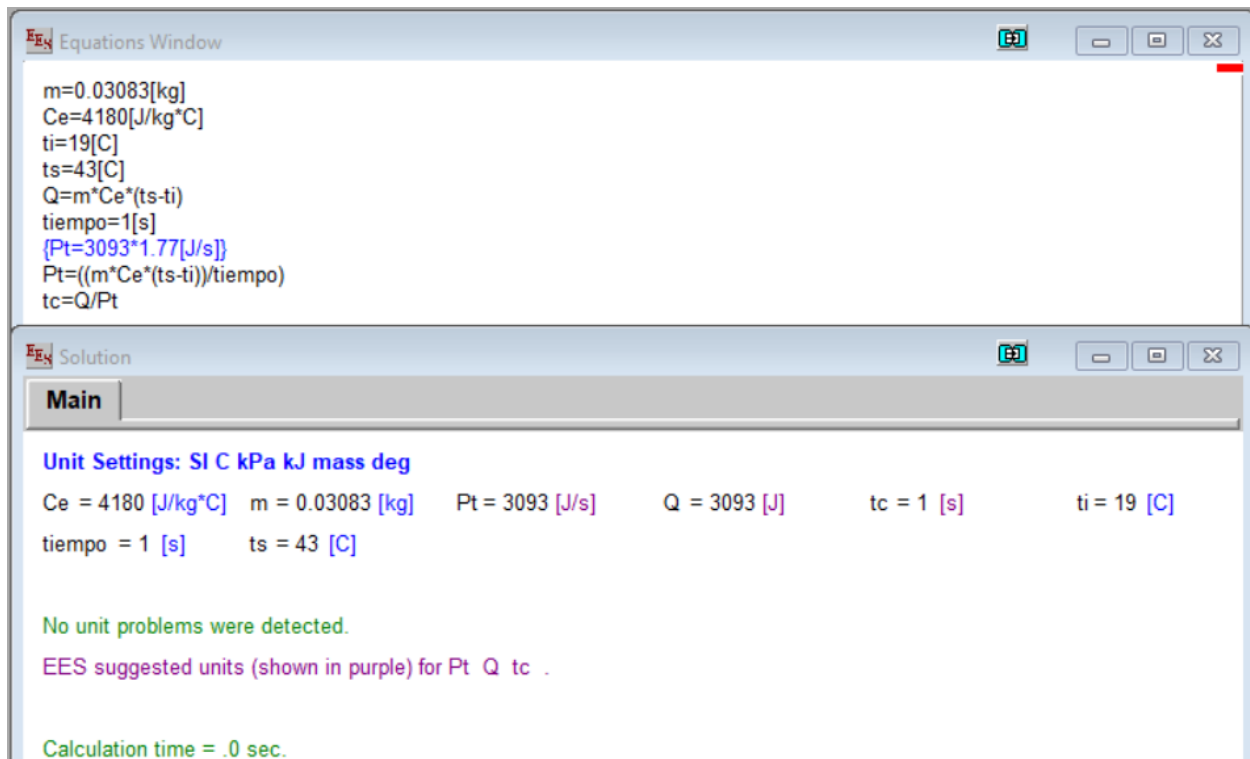


Figura 24. Resultado EES potencia térmica y capacidad calórica.

Por lo que el resultado es 3.093 Kw calóricos para calentar 5L/min luego permanece constante hasta que se detenga la circulación de agua. La temperatura dependerá del frío que haga en el exterior y también de si se abre más o menos el grifo.

Tabla 9. Potencia calórica aproximada.

| Potencia calórica (Watts) | Flujo de Gas (m ³ /s) |
|---------------------------|----------------------------------|
| 5475 | 0,43 |
| 4444 | 0,42 |
| 3928 | 0,4 |
| 3619 | 0,38 |
| 3413 | 0,37 |
| 3265,7 | 0,35 |
| 3155,2 | 0,33 |
| 3069,3 | 0,32 |

¹ Los Julios por segundo es equivalente a Watts de potencia calórica.

| | |
|--------|------|
| 3000,6 | 0,3 |
| 2944,3 | 0,28 |
| 2897,5 | 0,26 |
| 2857,8 | 0,24 |
| 2823,8 | 0,23 |
| 2794,4 | 0,21 |
| 2768,6 | 0,2 |
| 2745,9 | 0,19 |
| 2725,7 | 0,18 |
| 2707,6 | 0,16 |
| 2691,3 | 0,1 |

Según los datos reales y calculados de la Tabla 9, la diferencia de potencia adquirida con la misma cantidad de flujo de gas se puede observar en la Figura 25.

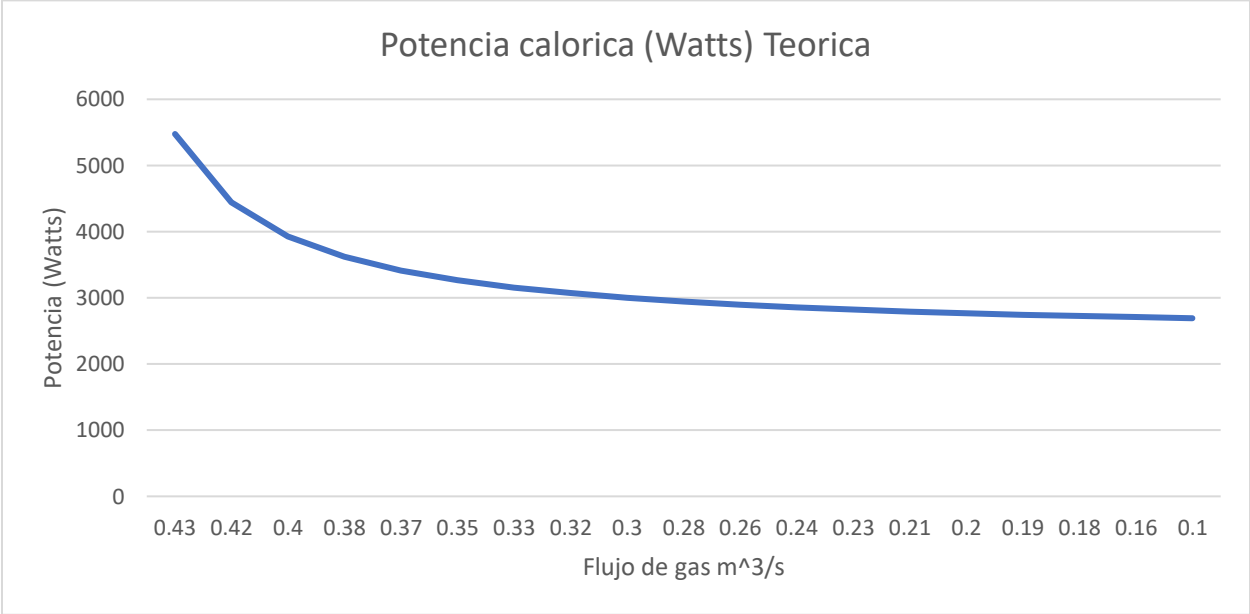


Figura 25. Potencia teórica.

4.1.3. Potencial Bioquímico.

El Potencial Bioquímico del Metano está relacionado directamente con el pH obtenido de las muestras durante el proceso de generación del biogás siendo mucho mejor si el pH se mantiene entre los 6.8 y los 7.5, éste parámetro también afecta al índice de Biodegradabilidad.

Tabla 10. "Potencial Bioquímico de Metano-PBM, a una temperatura de 30°C, durante 40 días."

Fuente: (Brayan Alexis Parra-Orobio, 2014)

| pH | PBM _{total} (mLCH ₄ *gSV ⁻¹) | PBM*(mLCH ₄ *gSV ⁻¹) | PBM _{teórico} (mLCH ₄ *gSV ⁻¹) | %CH ₄ | %B |
|---------|---|---|---|------------------|------|
| 5,5 | 70±23,55 | 7,7±2,59 | 240,0 | 99,67 | 29,0 |
| 6,0 | 71±21,20 | 7,8±2,33 | 240,0 | 99,97 | 30,0 |
| 7,0 | 126±10,60 | 13,9±1,09 | 240,0 | 99,84 | 53,0 |
| 8,0 | 95±23,55 | 11,4±1,24 | 240,0 | 99,83 | 41,0 |
| SA** | 99±5,83 | 10,8±0,52 | 240,0 | 99,84 | 39,0 |
| Control | 28,06±16,82 | 3,2±1,72 | N.D | 99,30 | N.D |

2

Considerando que la calidad de biogás, con un pH controlado de aproximadamente 7 duplicaría la capacidad de PBM generada que con un pH de 6; se estima que es un 77% mejor por lo que para el cálculo estimado de temperatura de salida con un pH de 7 en la amazonia con una temperatura de entrada de agua a 22°C será:

² Mientras mejor es el PBM mejor la calidad de biogás generada.

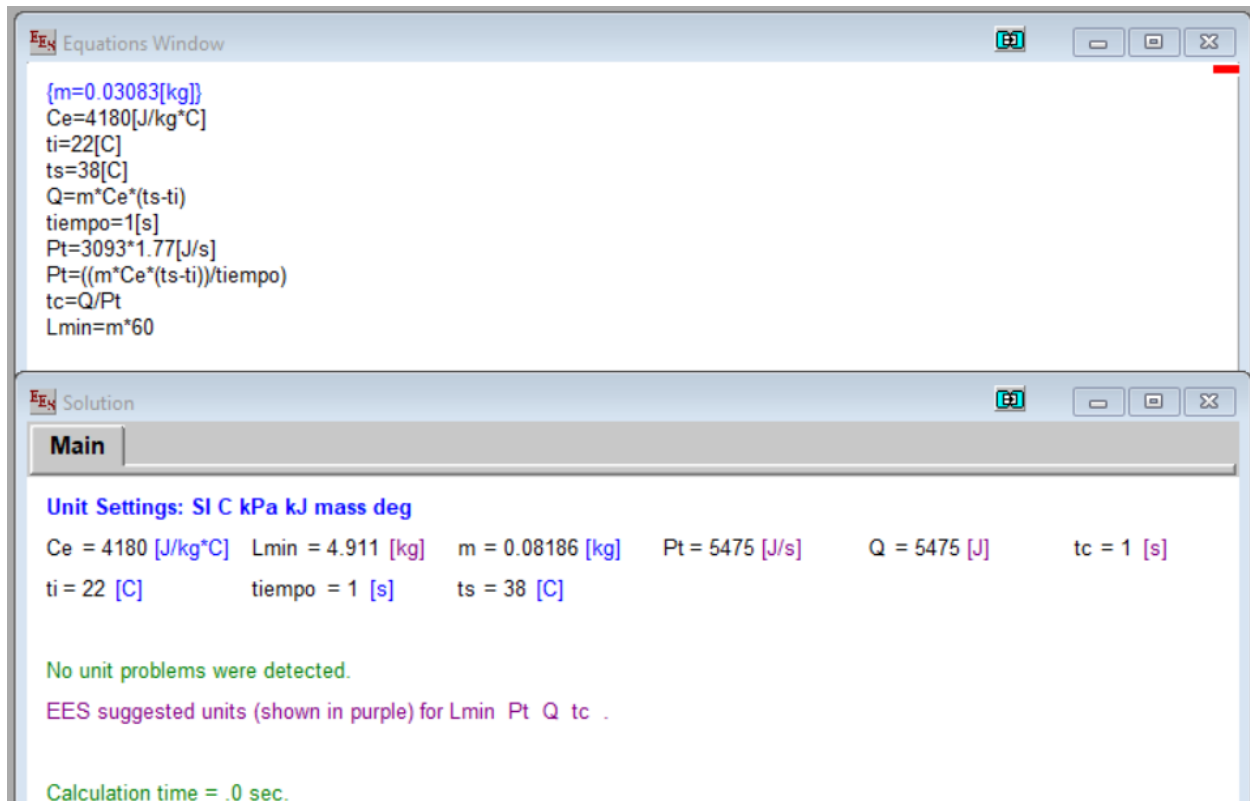


Figura 26. Temperatura estimada de salida de agua en la amazonia con pH 7

A continuación, se realiza el cálculo aproximado de L/min de agua caliente de 22°C a 38°C con la misma potencia calórica obtenida anteriormente con un pH mejorado, el resultado es 4.911 L/min que está dentro de los parámetros determinados por las especificaciones técnicas del calefón.

Resultado de simulación dinámica temperatura-L/min.

En base a la fórmula de capacidad calórica y en la fórmula de potencia podemos despejar los litros por minuto que se obtienen al calentar a cierta temperatura.

$$Q = m * C_e * (\Delta T) \quad (3)$$

$$P_t = \frac{Q}{\Delta t} \quad (4)$$

```

{m=0.03083[kg]}
Ce=4180[J/kg*C]
ti=22[C]

```

$$\{ts=38[C]\}$$

$$Q=m*Ce*(ts-ti)$$

$$tiempo=1[s]$$

$$Pt=3093*1.91[J/s]$$

$$Pt=((m*Ce*(ts-ti))/tiempo)$$

$$tc=Q/Pt$$

$$Lmin=m*60$$

Tabla 11. Temperatura de salida de agua con relación a L/min

| 1..20 | Lmin | ts [C] |
|---------------|----------|--------------|
| Run 1 | 1 | 106.8 |
| Run 2 | 1.316 | 86.45 |
| Run 3 | 1.632 | 73.97 |
| Run 4 | 1.947 | 65.55 |
| Run 5 | 2.263 | 59.47 |
| Run 6 | 2.579 | 54.88 |
| Run 7 | 2.895 | 51.29 |
| Run 8 | 3.211 | 48.41 |
| Run 9 | 3.526 | 46.05 |
| Run 10 | 3.842 | 44.07 |
| Run 11 | 4.158 | 42.39 |
| Run 12 | 4.474 | 40.95 |
| Run 13 | 4.789 | 39.71 |
| Run 14 | 5.105 | 38.61 |
| Run 15 | 5.421 | 37.64 |
| Run 16 | 5.737 | 36.78 |
| Run 17 | 6.053 | 36.01 |
| Run 18 | 6.368 | 35.32 |
| Run 19 | 6.684 | 34.69 |
| Run 20 | 7 | 34.11 |

La *Tabla 11* muestra la temperatura de salida del agua aproximada según el caudal de agua que circule por el calefón con un máximo de 34.11°C a 7 L/min. La relación que existe entre los L/min y la temperatura de salida está también representada en la *Figura 27*, mientras menor sea el caudal de agua mayor temperatura alcanzara agua al salir del calefón.

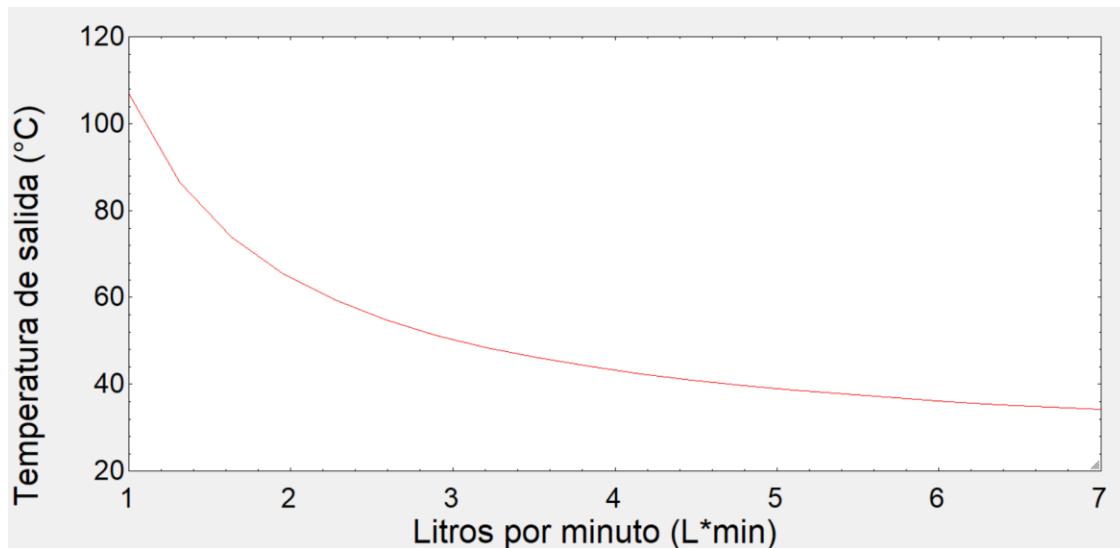


Figura 27. Temperatura de salida de agua con relación a L/min

Para el cálculo de la eficiencia se considera el diagrama de Sankey, donde nos aproxima una eficiencia térmica del 50% Figura 29.

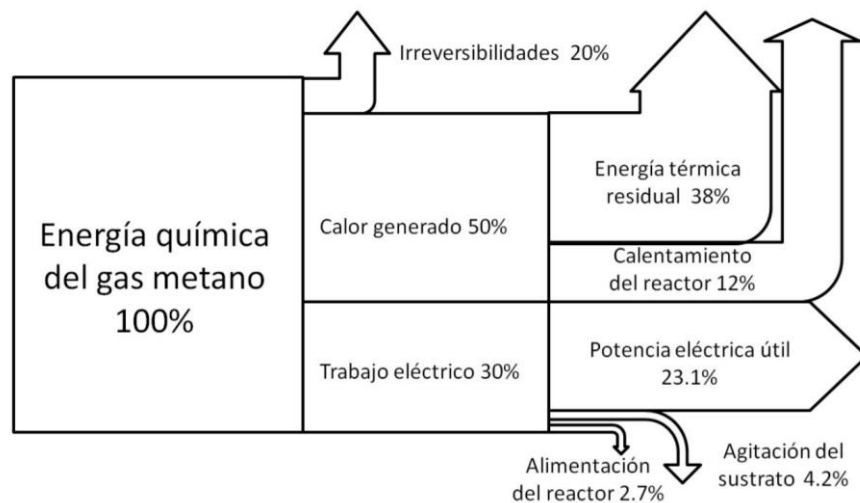


Figure 28. Diagrama de Sankey.

Fuente: (Ladino, 2011).

$$\eta = \frac{E_{salida}}{E_{entrada}} * 100$$

$$\eta = \frac{T_H - T_C}{T_H} * 100$$

Donde:

T_H es la temperatura del agua caliente;

T_C es la temperatura del agua antes de ingresar al calefón.

$$\eta = \frac{44 - 22}{44} * 100$$

$$\eta = 50\%$$

Tabla 12. Eficiencia de acuerdo con la temperatura

| Temperatura °C | Eficiencia % |
|----------------|--------------|
| 22 | 0 |
| 23.16 | 5 |
| 24.32 | 9.524 |
| 25.47 | 13.64 |
| 26.63 | 17.39 |
| 27.79 | 20.83 |
| 28.95 | 24 |
| 30.11 | 26.92 |
| 31.26 | 29.63 |
| 32.42 | 32.14 |
| 33.58 | 34.48 |
| 34.74 | 36.67 |
| 35.89 | 38.71 |
| 37.05 | 40.63 |
| 38.21 | 42.42 |
| 39.37 | 44.12 |
| 40.53 | 45.71 |
| 41.68 | 47.22 |
| 42.84 | 48.65 |
| 44 | 50 |

Según la Tabla 12 este caso sería el ideal con respecto a la eficiencia considerando la temperatura del agua en la salida del calefón Figura 29.

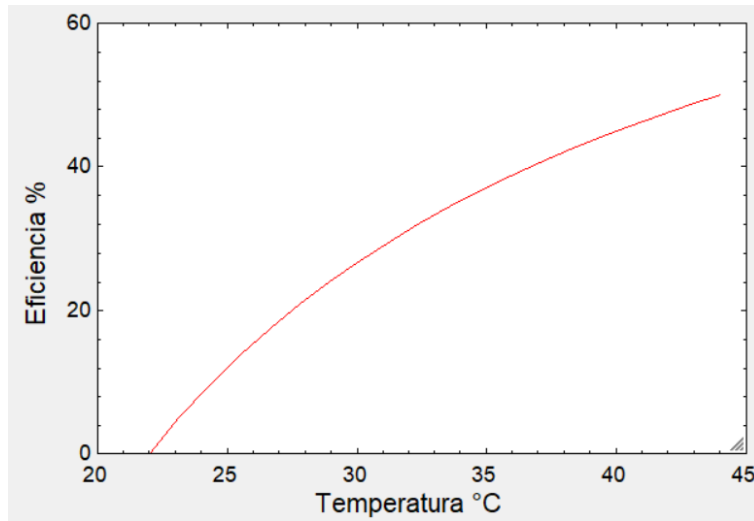


Figura 29. Eficiencia de biogás teórica

4.2. Resultados experimentales

La temperatura del ambiente en el cual se generó el biogás tiene una medida moda de 19°C como se muestra en la Tabla 13. Que presenta el tiempo de muestreo, la fecha, la hora y el valor medido de temperatura de ambiente. Normalmente baja a una temperatura mínima de 17°C y máxima de 22°C.

Tabla 13. Temperatura ambiente.

| timestamp | human_readable_date | Temperatura (°C) |
|-------------|---------------------|------------------|
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:46 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:46 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:45 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:45 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:45 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:44 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:44 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:44 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:44 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:43 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:42 | 19 |

| | | |
|-------------|-----------------|----|
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:42 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:41 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:41 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:41 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:40 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:40 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:40 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:40 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:39 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:39 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:38 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:38 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:38 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:37 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:37 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:37 | 19 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:36 | 19 |

Con la potencia Calorífica calculada se pudo obtener la muestra para la aproximación de 7 L/min, además de realizar una aproximación en el caso de mejorar el pH. Las pruebas se realizaron con un pH aproximado de 6.

Tabla 14. pH medido en las pruebas durante la generación del biogás

| Tiempo de | Fecha y hora | nivel de pH |
|-------------|-----------------|-------------|
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:47 | 6,02 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:47 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:47 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:47 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:47 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:47 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:47 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:47 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:46 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:46 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:46 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:46 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:46 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:46 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:46 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:46 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:46 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:46 | 6,04 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:46 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:46 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:46 | 6,04 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:46 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:45 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:45 | 6,03 |
| 1,58018E+12 | 1/27/2020 21:45 | 6,03 |

La Tabla 14 muestran el tiempo de muestreo, la fecha, la hora y el valor medido de pH dando una media de 6.03. Estos datos nos ayudaran a identificar el potencial bioquímico del metano obtenido con este pH.

En la Tabla 15 se muestra la elevación real de temperatura respecto al tiempo, con un caudal de agua estable, al pasar 3 segundos se eleva la temperatura de 31°C a 43°C Figura 30.

Tabla 15. Temperatura del agua con Caudal determinado

| timestamp | Temperatura (°C) | Cuadal (L/min) |
|--------------------|------------------|----------------|
| 1/27/2020 21:40 | 43 | 1,85 |
| 1/27/2020 21:40 | 43 | 1,85 |

| | | | |
|-----------|-------|----|------|
| 1/27/2020 | 21:40 | 43 | 1,85 |
| 1/27/2020 | 21:39 | 43 | 1,72 |
| 1/27/2020 | 21:39 | 42 | 1,85 |
| 1/27/2020 | 21:39 | 42 | 1,72 |
| 1/27/2020 | 21:39 | 42 | 1,85 |
| 1/27/2020 | 21:39 | 42 | 1,72 |
| 1/27/2020 | 21:39 | 42 | 1,85 |
| 1/27/2020 | 21:39 | 42 | 1,85 |
| 1/27/2020 | 21:38 | 42 | 1,85 |
| 1/27/2020 | 21:38 | 41 | 1,85 |
| 1/27/2020 | 21:38 | 41 | 1,85 |
| 1/27/2020 | 21:38 | 41 | 1,85 |
| 1/27/2020 | 21:38 | 39 | 1,85 |
| 1/27/2020 | 21:38 | 37 | 1,85 |
| 1/27/2020 | 21:38 | 36 | 1,85 |
| 1/27/2020 | 21:38 | 32 | 1,85 |
| 1/27/2020 | 21:38 | 31 | 1,72 |
| 1/27/2020 | 21:37 | 31 | 1,85 |
| 1/27/2020 | 21:37 | 31 | 1,85 |
| 1/27/2020 | 21:37 | 31 | 1,85 |
| 1/27/2020 | 21:37 | 31 | 1,46 |

| | | | |
|-----------|-------|----|------|
| 1/27/2020 | 21:37 | 31 | 1,32 |
| 1/27/2020 | 21:36 | 31 | 3,05 |
| 1/27/2020 | 21:36 | 31 | 2,91 |

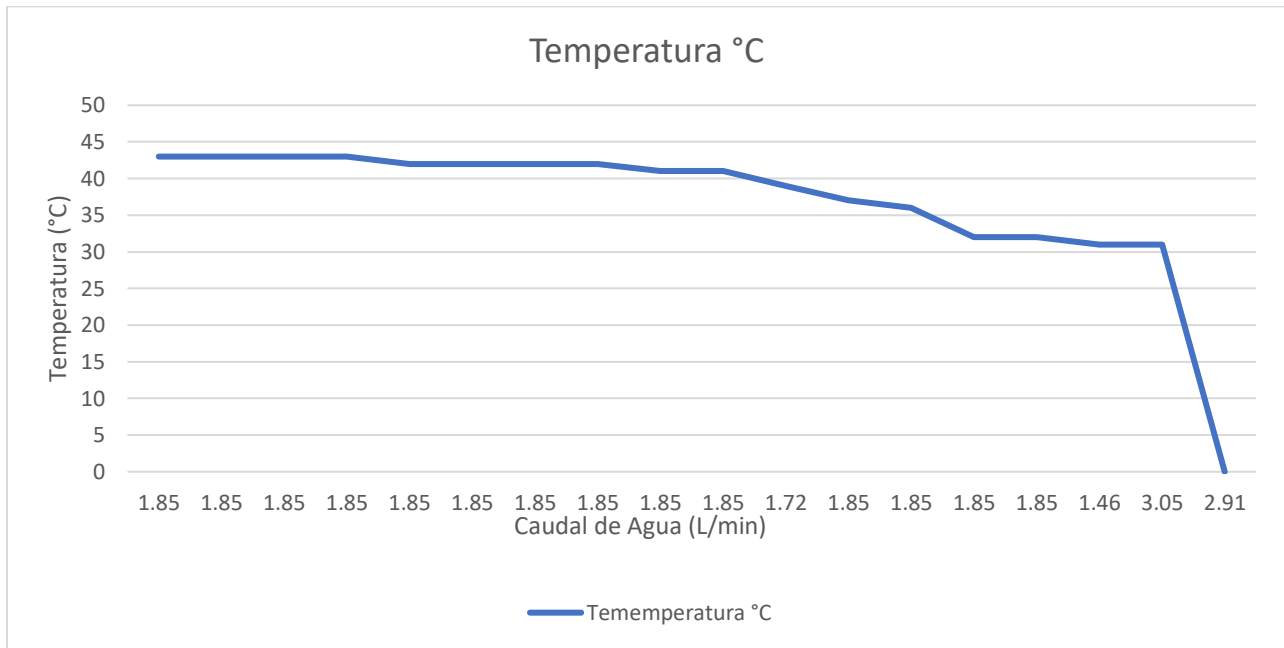


Figura 30. Temperatura respecto al Caudal

Debido al generador de presión, el flujo de gas fue constante en la toma de datos, sin embargo, se giró la perilla reguladora de la presión ejercida dando una lectura máxima de consumo de $0.43 \text{ m}^3/\text{s}$ y mínima de aproximadamente $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ Tabla 16. La temperatura del agua llega a la temperatura representada, cabe recalcar que respecto al tiempo es más prolongado en el caso de tener un flujo menos de gas Figura 31.

Tabla 16. Temperatura del agua respecto al flujo de gas

| Temperatura (°C) | Flujo de Gas (m^3/s) |
|------------------|--|
| 43 | 0,434782609 |
| 41,8 | 0,418043478 |

| | |
|------|-------------|
| 40,6 | 0,401304348 |
| 39,4 | 0,384565217 |
| 38,2 | 0,367826087 |
| 37 | 0,351086957 |
| 35,8 | 0,334347826 |
| 34,6 | 0,317608696 |
| 33,4 | 0,300869565 |
| 32,2 | 0,284130435 |
| 31 | 0,257391304 |
| 29,8 | 0,240652174 |
| 28,6 | 0,233913043 |
| 27,4 | 0,207173913 |
| 26,2 | 0,200434783 |
| 25 | 0,193695652 |
| 23,8 | 0,176956522 |
| 22,6 | 0,160217391 |
| 21,4 | 0,133478261 |
| 20,2 | 0,12673913 |
| 19 | 0,1 |
| 19 | 0 |
| 19 | 0 |
| 19 | 0 |

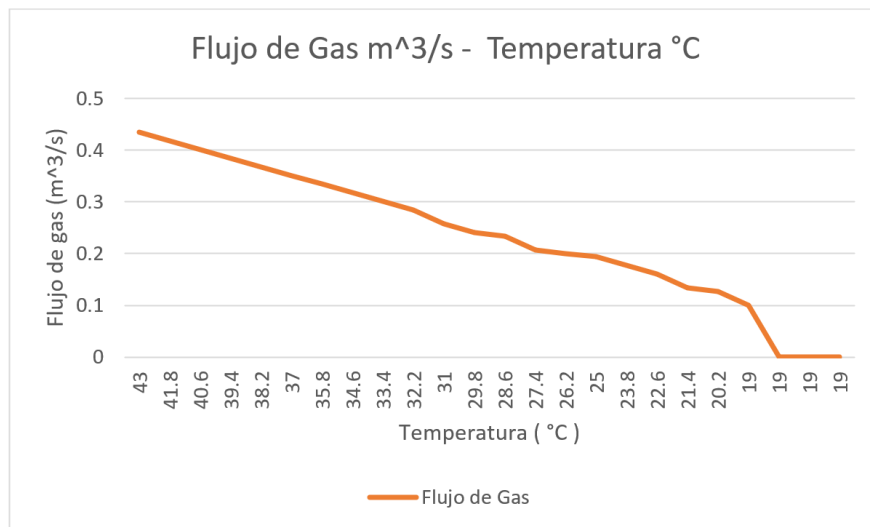


Figura 31. Temperatura de agua respecto a flujo de gas.

La potencia calórica generada por el calefón está directamente relacionada con el flujo de gas que tenemos, por lo que también se ve reflejado en los datos obtenidos en la Tabla 17 y la Figura 31.

Tabla 17. Valor de potencia con flujo regulado

| Potencia calórica (Watts) | Flujo de Gas (m ³ /s) |
|---------------------------|----------------------------------|
| 3093 | 0,434782609 |
| 2062 | 0,418043478 |
| 1546 | 0,401304348 |
| 1237 | 0,384565217 |
| 1031 | 0,367826087 |
| 883,7 | 0,351086957 |
| 773,2 | 0,334347826 |
| 687,3 | 0,317608696 |
| 618,6 | 0,300869565 |
| 562,3 | 0,284130435 |
| 515,5 | 0,257391304 |
| 475,8 | 0,240652174 |
| 441,8 | 0,233913043 |
| 412,4 | 0,207173913 |
| 386,6 | 0,200434783 |
| 363,9 | 0,193695652 |
| 343,7 | 0,176956522 |
| 325,6 | 0,158452 |
| 309,3 | 0,1 |



Figura 32. Eficiencia respecto al flujo de gas

Respecto a la eficiencia de la planta de biogás en este caso no se consiguió un pH eficiente por lo que no se llegó a tener una eficiencia optima como se observan en las tablas Tabla 18, Tabla 19 y en la Figura 33.

Tabla 18. Eficiencia respecto a el Flujo de gas

| Eficiencia % | Flujo de Gas (m ³ /s) |
|--------------|----------------------------------|
| 28 | 0,434782609 |
| 25 | 0,418043478 |
| 32 | 0,401304348 |
| 32 | 0,384565217 |
| 32 | 0,367826087 |
| 25 | 0,351086957 |
| 29 | 0,334347826 |
| 32 | 0,317608696 |
| 32 | 0,300869565 |
| 32 | 0,284130435 |
| 32 | 0,257391304 |
| 29 | 0,240652174 |
| 32 | 0,233913043 |
| 25 | 0,207173913 |

| | |
|----|-------------|
| 25 | 0,200434783 |
| 25 | 0,193695652 |
| 25 | 0,176956522 |
| 32 | 0,158452 |
| 19 | 0,1 |

Tabla 19. Eficiencia experimental respecto a la temperatura

| Temperatura °C | Eficiencia % |
|-------------------|--------------|
| 22 | 0 |
| 23.16 | 2.618 |
| 24.32 | 4.986 |
| 25.47 | 7.139 |
| 26.63 | 9.105 |
| 27.79 | 10.91 |
| 28.95 | 12.57 |
| 30.11 | 14.1 |
| 31.26 | 15.51 |
| 32.42 | 16.83 |
| 33.58 | 18.05 |
| 34.74 | 19.2 |
| 35.89 | 20.27 |
| 37.05 | 21.27 |
| 38.21 | 22.21 |
| 39.37 | 23.1 |
| 40.53 | 23.93 |
| 41.68 | 24.72 |
| 42.84 | 25.47 |
| 44 | 26.18 |

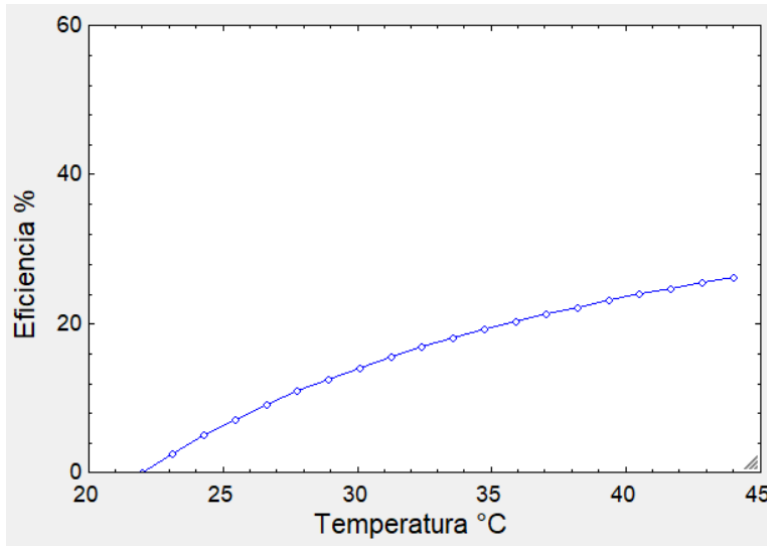


Figura 33. Eficiencia Experimental

Una vez obtenidos los parámetros de energía se realiza el balance de energía con la formula (5) dando como resultado. El bombeo realizado es durante 30 min al día. Según el manual de la planta generadora de biogás, está genera 2 [Nm³/día], lo cual $Q_G = 2$. Debido a la temperatura ambiente del lugar en donde se realizó la generación del biogás el tiempo de fermentación es de tipo mesófila aproximadamente son 30 días, por lo tanto, según la Figura 1, la cantidad de $P_{CH_4} = 0.6$.

$$E_{neta} = E_{term}^{prod} - E_{bomb}^{perd} \quad (5)$$

Calculamos la energía térmica producida (6)

$$E_{term}^{prod} = Q_G P_{CH_4} H_C \eta_{term} \left[\frac{kWh}{dia} \right] \quad (6)$$

$$E_{term}^{prod} = 2 * 0.6 * 3.093 \frac{kW}{h} * 0.5 \left[\frac{kWh}{dia} \right]$$

$$E_{term}^{prod} = 1.5465 \left[\frac{kWh}{dia} \right]$$

$$E_{neta} = 1.5465 - 0.0625 \frac{kw}{h}$$

$$E_{neta} = 1.484 \frac{Kwh}{dia}$$

Ahora se calcula con la aproximada potencia generada.

$$E_{term}^{prod} = Q_G P_{CH_4} H_C \eta_{term} \left[\frac{kWh}{dia} \right] \quad (6)$$

$$E_{term}^{prod} = 2 * 0.6 * 5475 \frac{kW}{h} * 0.5 \left[\frac{kWh}{dia} \right]$$

$$E_{term}^{prod} = 3285 \left[\frac{kWh}{dia} \right]$$

$$E_{neta} = 1.5465 - 0.0625 \frac{kw}{h}$$

$$E_{neta} = 3.284 \frac{Kwh}{dia}$$

4.3. Validaciones y comparaciones

De acuerdo con estos resultados la capacidad de energía neta aproximada es mayor debido a las ventajas que representa tener un pH regulado y una temperatura mayor. La capacidad calórica aumenta considerablemente por la cantidad de metano generado con un pH cercano a 7. La instalación en la Amazonia ecuatoriana es factible ya que es posible aprovechar el potencial bioquímico que los desechos orgánicos de la cocina, generando energía y así aprovecharla en forma de calor para calentar agua mediante el calefón.

Las condiciones climáticas del entorno en fase de experimentación más el insuficiente nivel de pH alcanzado, además de colocar varios desechos en la planta ocasionó la reducción de la eficiencia que está relacionada directamente con la energía neta que podemos conseguir:

$$E_{neta} = 1.484 \frac{Kwh}{dia} \quad vs \quad E_{neta} = 3.284 \frac{Kwh}{dia}$$

Respecto a la eficiencia del biogás, esta se mide en la calidad de energía calórica que se puede aprovechar del sistema teniendo un máximo del 50% ya que se pierde energía en el proceso esto está relacionado directamente con la cantidad de CH_4 que contiene el contenido de la planta, un

buen control de pH con la temperatura adecuada, las bacterias generan un gas de mayor calidad consiguiendo un potencial bioquímico más eficiente con lo que se pronostica una mejora en la eficiencia del biogás. Cabe destacar que mientras mayor es la calidad de biogás es menor el flujo de gas necesario para conseguir la temperatura deseada en el calefón Figura 25.

En la *Tabla 11*, se aproximó que la temperatura del agua llegaría a 37°C con un caudal de 5 L/min lo que representa una cantidad mayor de energía neta calórica que la que medimos en la fase experimental que se muestran en la *Tabla 15* y en la Figura 34.

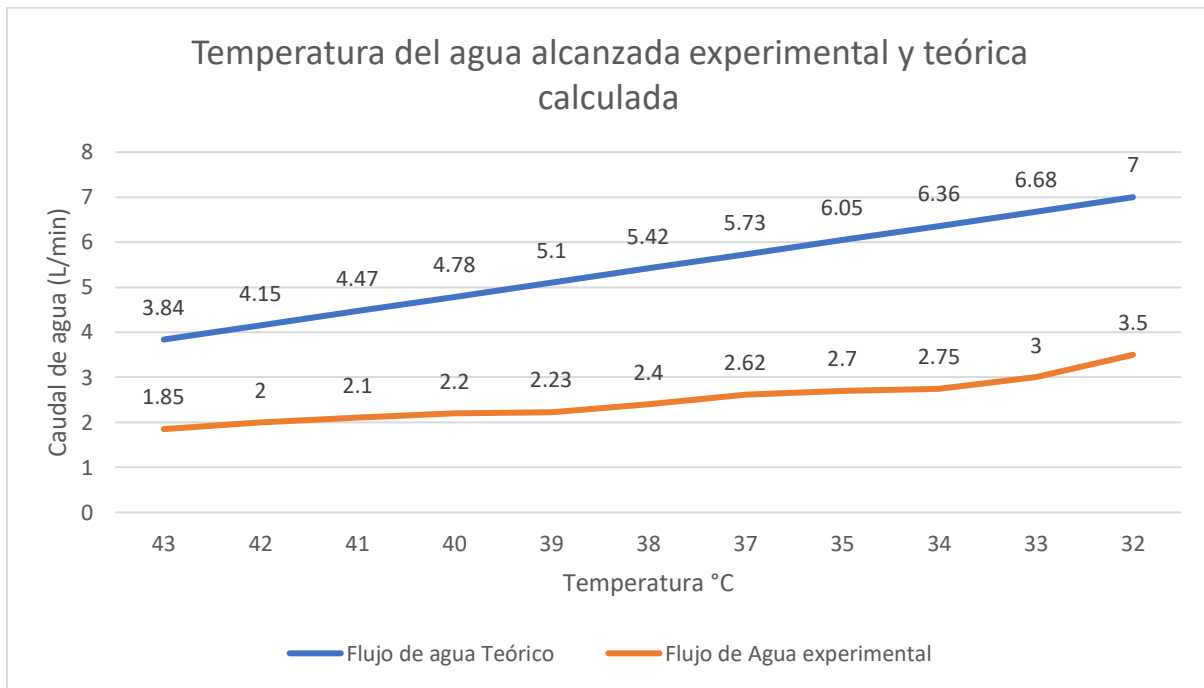


Figura 34. Temperatura del agua experimental vs teórica calculada.

De acuerdo con la eficiencia teórica la máxima siempre va a ser el 50%, debido a que las sustancias ingresadas a la planta de biogás no fueron estrictamente controladas y la temperatura tampoco fue ideal; se obtuvo los siguientes resultados Figura 35.

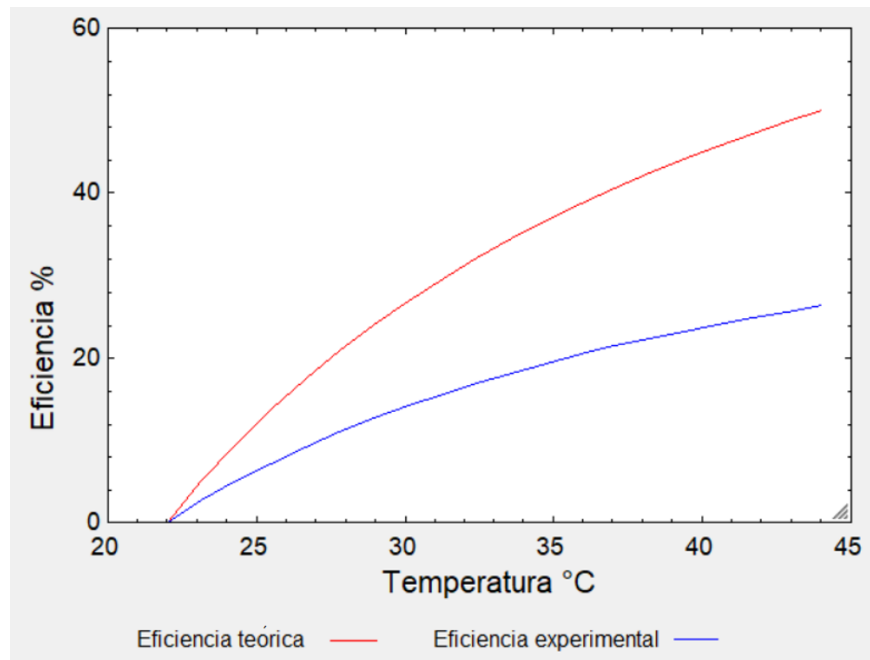


Figura 35. Eficiencia experimental y teórica respecto a la temperatura

En la Figura 35 se puede apreciar la diferencia de la eficiencia experimental y teórica calculada siendo de color rojo la teórica y de color azul la experimental, claramente se nota una diferencia, este es el resultado de la calidad de biogás obtenido, idealmente podríamos obtener una calidad del 50% esto se debe a las pérdidas de conversión de energía al realizar la combustión del gas generado (Ladino, 2011).

La potencia calórica está directamente relacionada con la calidad del gas por lo que el flujo de gas para conseguir la misma potencia calórica es menor, se puede observar en la Figura 36.

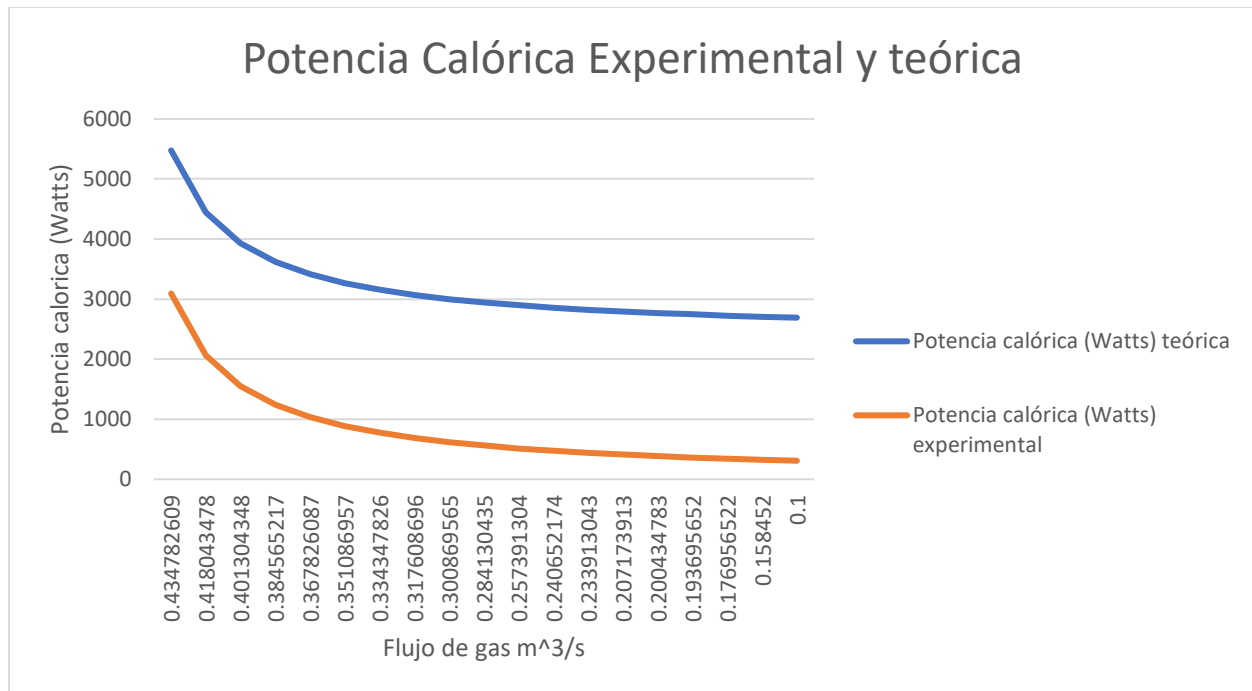


Figura 36. Potencia experimental y teórica.

Los resultados reales a diferencia de los calculados varían. Figura 34. La cantidad de agua que pasa por la tubería respecto a la temperatura está directamente relacionada con la calidad de biogás que contiene la planta, si se consigue un gas de mayor calidad es posible obtener una mayor temperatura a la salida. El cambio de temperatura respecto al flujo de agua se da debido a la composición del gas generado en la planta, en situaciones ideales la planta funciona de forma óptima consiguiendo una calidad de gas superior y consecuentemente una temperatura mayor en la combustión del gas generado, para conseguir esto tiene que existir un riguroso control de toda la planta como por ejemplo la cantidad de materia ingresada tomando en consideración la composición química de los mismos, de tal forma que lleguemos a obtener un balance ideal para que las bacterias generen un biogás de mayor calidad, en cuanto al tiempo de generación depende mucho de la temperatura a la cual la planta está sometida, acelerando o retardando el tiempo en el cual podemos obtener el biogás, cabe destacar que siempre se tiene que mantener el pH neutro, para que de igual manera esto favorezca al proceso de generación de biogás.

6. CONCLUSIONES.

- Para iniciar el proceso de generación de biogás se requiere seguir de forma rigurosa lo que indica el manual del usuario en cuanto a la cantidad de estiércol y acelerante, con una mezcla continua de agua, esto permite tener un control en cuanto al tiempo requerido para empezar a alimentar a las bacterias metanogénicas.
- Para empezar a dar uso del biogás generado se requirió hacer pruebas de combustión del mismo, ya que la calidad inicial del biogás depende directamente del nivel de pH de la materia que reposa en la bolsa de nuestro sistema de generación de biogás PUXIN.
- Para obtener un biogás de buena calidad, se tiene que mantener los niveles del pH de la materia ingresada entre 6.8 y 7.5, para ello mantenemos el respectivo monitoreo. En base a los datos obtenidos se ingresó la materia necesaria para regular estos niveles.
- La temperatura promedio de la Amazonía permite una generación del biogás más acelerada ya que la humedad y el calor que se mantiene durante las 24 horas permite una generación eficiente.
- Según el modelado matemático de generación de biogás muestra que para obtener la cantidad y calidad adecuada dependemos directamente de la temperatura ambiente, del nivel de pH de la materia y el porcentaje de sustancias orgánicas que contenga.
- Se tiene que aprovechar la energía de los desperdicios orgánicos al máximo con el uso del biogás e incluso utilizando el biol que es un excelente fertilizante para la tierra.
- Con el modelado matemático se puede valorar la cantidad de biogás posible para generar dependiendo de la temperatura ambiente del lugar y la cantidad de sustrato que ingresados al equipo de biogeneración.
- Con el modelado matemático de transferencia de calor se puede valorar la temperatura del agua que se obtiene considerando la temperatura inicial del agua, diámetro de la tubería y difusividad térmica del material que usemos.
- De acuerdo con los datos obtenidos a la eficiencia del sistema que naturalmente es el 0,5 aprovechable cuando se trata de energía calórica debido a pérdidas por combustión y del sistema en sí de generación, se puede aprovechar de mejor manera si el pH y la temperatura ambiente es controlada.

- La temperatura de salida de agua obtenida es más elevada en la aproximación que se realizó, esta reacción es natural por que el cálculo realizado fue hecho con condiciones ideales, además de cambiar la temperatura inicial del agua, llegando así a temperaturas más favorables en menor tiempo, requiriendo menor energía para llegar a la temperatura requerida
- La cantidad de gas consumido para calentar agua hasta cierta temperatura se ve directamente relacionada con la calidad de biogás generado, evidentemente el consumo de gas de mayor calidad es menor porque la cantidad energética que lleva por $\frac{m^3}{s}$ es mayor, por lo tanto se necesita una cantidad de flujo de gas menor para conseguir la temperatura requerida, esto se debe a la cantidad de metano que lleva este gas, mientras más metano exista en el compuesto menor flujo de gas es necesario.
- Teóricamente no es posible obtener una mayor eficiencia que del 50%, de acuerdo con los resultados se puede acercar y aprovechar al máximo.
- La eficiencia se vincula directamente con la calidad del biogás y la manera de aprovechar la potencia calórica que se genera, quemando todo el gas que se genera.

7. RECOMENDACIONES.

Para la implementación de este sistema debemos considerar algunos factores para su ubicación:

- Se debe mantener en un espacio abierto que cuente con un desagüe donde de evacue el excedente de sustrato al momento de ingresar los desechos orgánicos.
- El equipo debe mantenerse en un lugar ventilado y que este resguardado por una cubierta que proteja de la lluvia al equipo.
- Debe existir fácil acceso y espacio para la revisión periódica de todo el equipo.
- Es recomendable colocar depósitos donde se consiga clasificar los alimentos según el grado pH que otorga el sustrato de este para mantener un control del nivel de pH en el equipo ya que de esto depende la calidad de biogás que vamos a obtener.

- No debemos usar desperdicios orgánicos difíciles de triturar como el tejido adiposo de los animales bovinos o porcinos, ya que esta causa resistencia en la trituración y puede causar daños en la licuadora industrial.
- Para la regulación rápida del pH en el equipo es recomendable usar elementos como: ceniza, Cal, o desperdicios con niveles altos de pH en su sustrato como : café, leche , huevos o legumbres, estos elementos son más fáciles de obtener por el uso cotidiano en una vivienda.
- Para asegurar la durabilidad de los equipos debemos mantener revisiones periódicas de su estado físico y operativo.
- Para evitar los malos olores que podrían generar los desperdicios orgánicos de tiene que usar tachos herméticos para almacenar los desechos y mantener el equipo limpio luego del ingreso de la materia triturada.
- Para el uso del calefón se puede utilizar sobre la tubería, espumas térmicas que ayudarán a mantener la temperatura del agua entre el cierre y apertura de las diferentes fuentes de agua caliente, esto podrá ayudar a disminuir el tiempo en que podría enfriarse el agua.
- Para la alimentación del generador de presión de biogás se sugiere adaptar un sistema de energización tan solo el momento que exista flujo de agua en los ductos de agua caliente.
- Por seguridad el calefón y el sistema de biogeneración debe estar protegido por mallas o un sistema que impida el fácil acceso ya que el biogás puede ser altamente inflamable.
- Una buena señalización y un manual de operación sencillo para el sistema ayudará a mantener el equipo en buen estado y resguardar la integridad física de quienes operen el sistema.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.





- *Sami, S. a. (2017). THERMAL ANALYSIS OF BIOMASS/GAS TURBINE AND WIND TURBINE HYBRID SYSTEM FOR ELECTRICITY GENERATION AND DISTRICT HEATING. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CURRENT RESEARCH*, 11.
- Ambiente., M. d. (2019.). Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos. <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>.
- Aristizabal, M. T. (11 de Agosto de 2016). Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales . *Visiones de la electrificación rural en la Amazonía ecuatoriana: disputando lógicas hegemónicas*, pág. 18.
- Brayan Alexis Parra-Orobio, P. T.-L.-R.-C.-F.-L.-A. (2014). INFLUENCE OF pH ON ANAEROBIC DIGESTION OF MUNICIPAL BIO-WASTES.
- Caballero, D. (2020). *Cómo usar un sensor de pH con Arduino*. Obtenido de Scidle.
- Cabrera, M. A. (2015). *Desarrollo de un simulador numérico basado en ADM1 de un reactor anaerobio ASBR*. Barcelona.
- Camacho., R. (2017). *Evaluación del estiércol de vaca como inóculo en la digestión anaeróbica termófila de residuos sólidos urbanos*. Cauca , Colombia.: ISSN 0718-0764.
- Camargo Y, y. V. (2009). EMISIONES DE BIOGAS PRODUCIDAS EN LOS RELLENOS SANITARIOS. *REDISA*, 12.
- Contretas., L. M. (2006). Producción de biogás con fines energéticos. De lo histórico a lo estratégico. *Futuros #16.*, 8.
- Crespo, M. D. (s.f.). *Arduino mega 2560*. Obtenido de [Manueldelgadocrespo.blogspot.com](http://manueldelgadocrespo.blogspot.com): <http://manueldelgadocrespo.blogspot.com/p/arduino-mega-2560.html>
- Cruz, D., López de León, F., Pascual, L., & Battaglia, M. (2010). *Guía Técnica de producción de hongos comestibles de la especie de Hongos Ostra*.
- Cynthia Tamara Bonifáz Rodríguez, H. R. (2012). *DISEÑO DE UN BIOGESTOR TIPO CÚPULA FIJA PARA GENRACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE DESHECHOS ORGÁNICOS*. QUITO: UNIVERIDAD POLITÉCTICA SALESIANA SEDE QUITO.
- D.J. Batstone, J. K. (2002). *The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1)*. IWA Publishing 2002.
- Datos: población ecuatoriana. (16 de Junio de 2017). *Datos: población ecuatoriana*, pág. 1.
- El Telégrafo. Juan Carlos Holguín. . (18 de junio de 2017). El Telégrafo. *Biogás, alternativa energética para cuidar el ambiente*.

- el telégrafo. (25 de Junio de 2016). La zona recibe la influencia de los vientos alisios. *La Amazonía, una región en la que la humedad es la reina*, pág. 1.
- el telégrafo. (14 de Octubre de 2017). *Quito inaugura planta de electricidad a biogás*.
- EMAC. (18 de 10 de 2016). *Planta de biogas*.
- Engineering, O. (20 de Abril de 2020). *Medidores de pH: Sepa más sobre los sistemas y medidores de pH*. Obtenido de Mx.omega.com: <https://mx.omega.com/prodinfo/medidores-de-pH.html>
- G. F. Nellis, S. A. (2009). *Introduction to Engineering Heat Transfer*.
- Gerber., M. (2008). *An analysis of Available Mathematical Models for Anaerobic Digestion of Organic Substances for Production of biogas*. Germany.
- Hernández Jaramillo, J. D. (Enero de 2015). Implementación del modelo de digestión anaerobia ADM1 en MATLAB/SIMULINK.
- Hernández, L. d. (2020). *DS18B20 sensor de temperatura para líquidos con Arduino*. Obtenido de Programar fácil con Arduino: <https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/>
- HIDALGO, G. A. (2015). Caudalímetro YF-S201 Sensor Flujo 30 L/min. *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE*. Quito. Obtenido de DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE: <http://la-fabrica.com.ar/sensores/1143-SEN-16.html>
- IBM. (2020). *Conozca NodeMCU y su placa DEVKIT*. Obtenido de lbm.com: <https://www.ibm.com/developerworks/ssa/library/iot-nodemcu-open-why-use/index.html>
- L.R.M., H. M. (2011). Aplicación del modelo Adm1 en la digestión anaeróbica de aguas residuales y desechos sólidos . *UMBAGA*, 29-42.
- Ladino, E. D. (2011). Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable. Colombia : Universidad Nacional de Colombia.
- Lise Appels, J. L. (25 de Julio de 2011). Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. *artículo científico* .
- Lotina, A. M. (2012). Obtención de hidrógeno a partir de biogás. *Universidad Autónoma de Madrid*, 270.
- Lotina, A. M. (2012). Obtención de hidrógeno a partir de biogás. *Departamento de Química Física Aplicada* , 270.
- Merino, L. (2007). Las energías renovables. *Iberdrola*, 20.

- Moreano, G. V. (2019). Rendimiento y eficiencia de distintas técnicas de control en un calefón eléctrico. *Ingenius*, 90-99.
- Moreno, M. T. (2011). *MANUAL DE BIOGÁS*. Chile.
- Posso, F. (2002). ENERGÍA Y AMBIENTE: PASADO, PRESENTE Y FUTURO. PARTE DOS: SISTEMA ENERGÉTICO BASADO EN ENERGÍAS ALTERNATIVAS. *Sistema de información científica*, 73.
- PUXIN. (2019). *PUXIN*. Obtenido de <http://en.puxintech.com/Home>
- Ratnadip R Joshi, B. D. (2012). SIMULATION OF BIOMASS GASIFICATION REACTOR FOR FUEL IN GAS TURBINE. *International Joournal of Chemical Sciences and Applications ISSN 0976-2590*, 232-240.
- Sami, S. &. (2017). 9 9 + Autor correspondiente © 2017 Conscientia Beam. Todos los derechos reservados. SIMULACIÓN DE SOLAR FOTOVOLTAICA, BIOMASA DE GAS DE TURBINA Y DISTRITOSISTEMA HÍBRIDO DE CALEFACCIÓN. *Revista Internacional de Energía Sostenible y Medioambiental Investigación*.
- Santiago, M. C. (2018). *Simulación Dinámica de Sistema Híbrido (Pila Combustible PEM y Panel Solar Fotovoltaico) para una vivienda tipo de hasta 1200 Wh/día*. Trabajo de investigación , Universidad Católica de Cuenca , Cuenca.
- telegrafo, E. (29 de Julio de 2017). La energía eléctrica llega al 97% de la población. *La energía eléctrica llega al 97% de la población*, pág. 1.
- UBIDOTS. (s.f.). *ubidots.com*. Obtenido de <https://ubidots.com/about/>
- UTP., A. (2019). *Uso de EES para solución de problemas de ingeniería*.

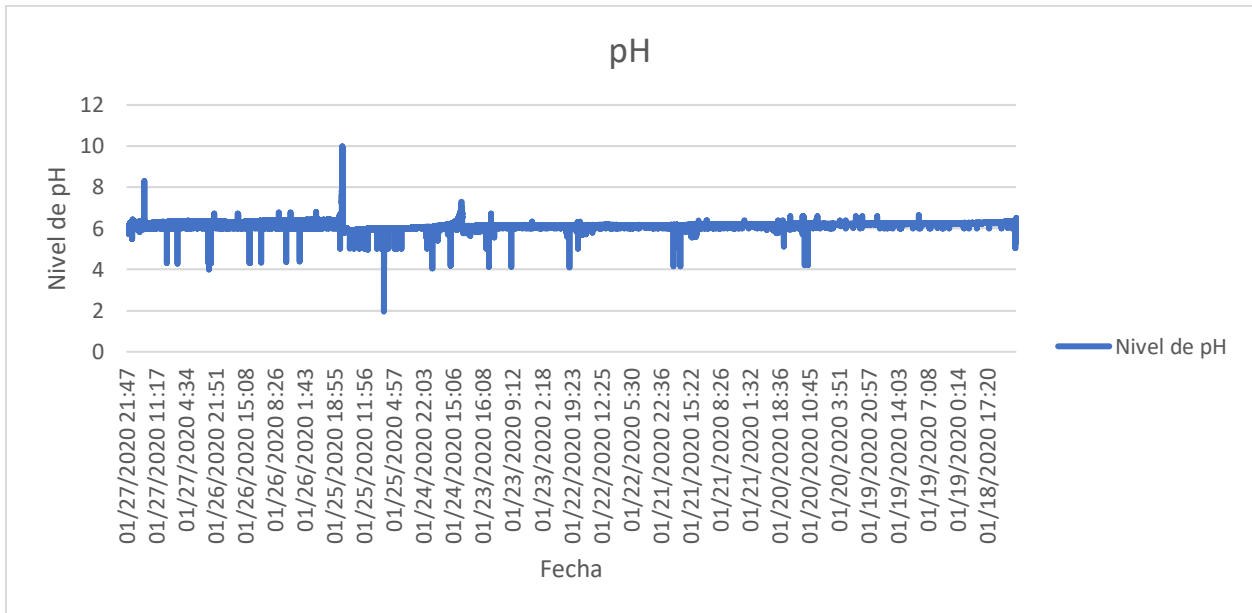
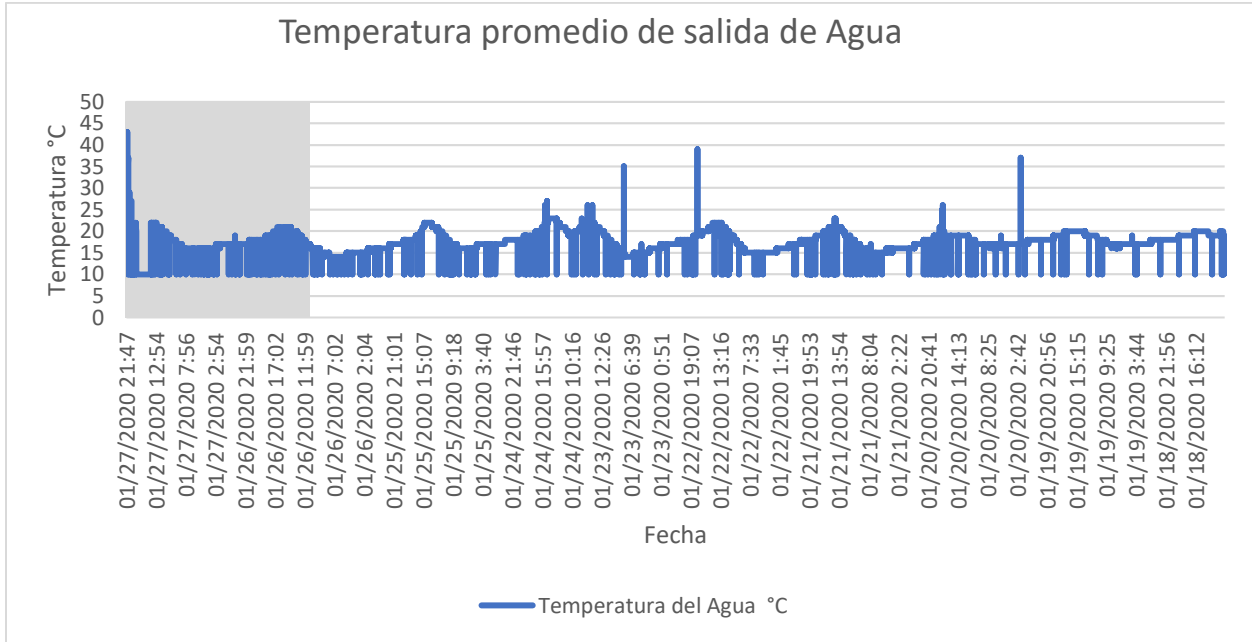
9. ANEXO 1

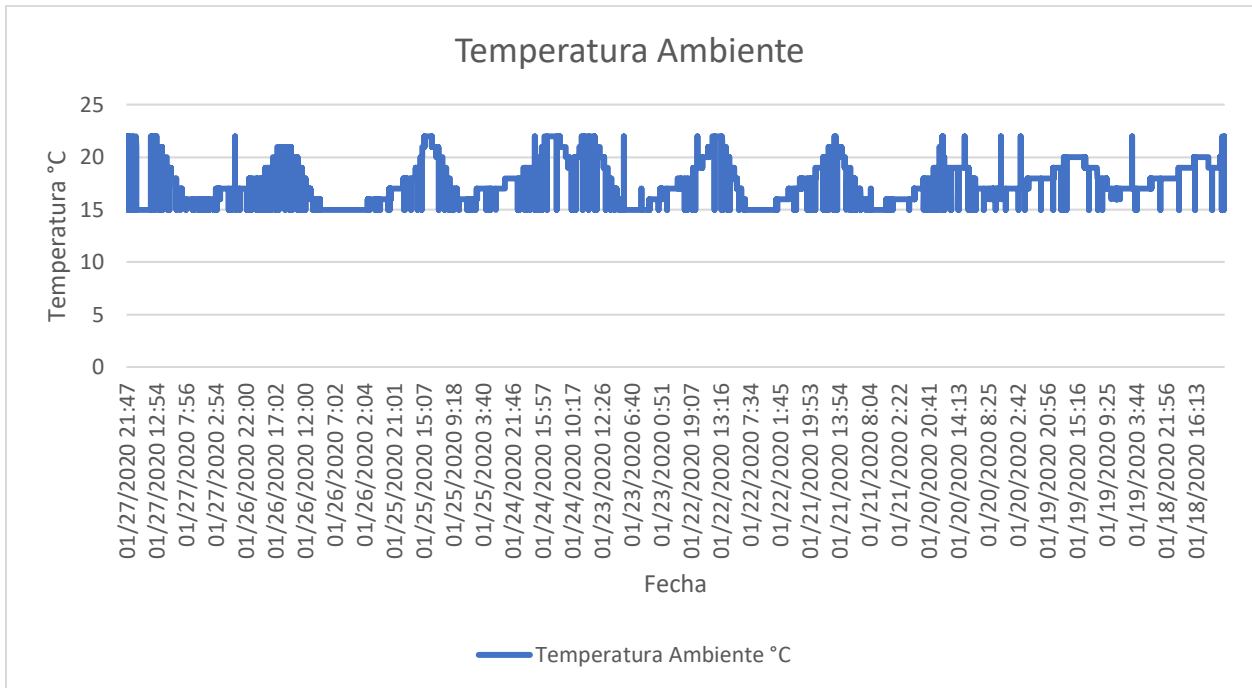
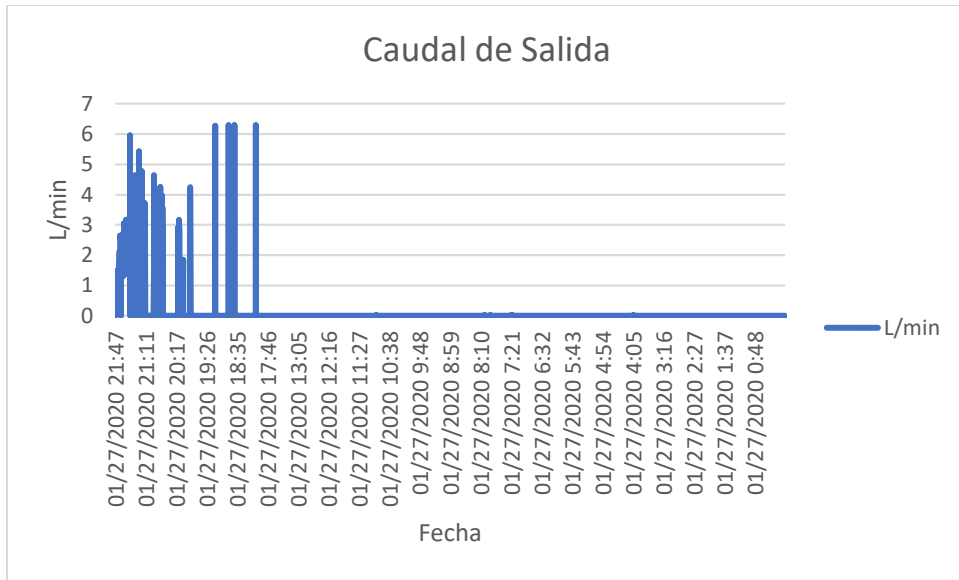
For one set of Puxin Family size portable assembly membrane biogas plant

| NO. | ITEM DESCRIPTION | IMAGE | QUANTITY |
|-----|--|--|----------|
| 1 | Portable Assembly Membrane Digester 3.4CBM HS CODE: 3925100000 |  | 1 set |
| | Biogas pump 220V AC 15W |  | 1 set |
| | Small size dehydrator 0.6L |  | 1 set |
| | Biogas desulfurizer PX-1L |  | 1 pcs |

| | | | |
|----|--|---|--------|
| 2 | Biogas Fitting HS CODE: 3917230000 |  | 1 sets |
| 3 | Fermentation Bacteria |  | 3 bags |
| 6 | Biogas water heater JSD14 Heat flux: 14kw Hot water production rate(at 25°C): 7L/min HS CODE: 160623000 |  www.puxinbiogas.com | 1 pc |
| 10 | Circulating pump (125W, Single phase) (including pipelines and valves) (AC Single phase 220V, 50HZ) HS CODE: 8413709990 |  | 1 set |
| 12 | Flow meter(JBD2.5-SA) Nominal flow rate Q: 2.5m3/h Max. flow rate Qmax: 4m3/h Min. flow rate Qmin: 0.025m3/h |  | 1 pc |

Datos generales tomados de sensores.

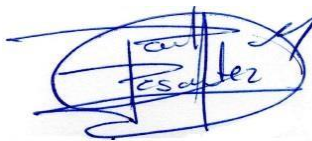




AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Paúl Hernán Pesántez Picón** portador de la cédula de ciudadanía N° 1400636070. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Simulación de un sistema de biomasa, biogás para calentamiento de agua para una casa típica de la Amazonía.”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 07 de julio de 2020



F:

Paúl Hernán Pesántez Picón.

1400636070