



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**

“Propuesta de diseño de un Biodigestor para generar la Electricidad y suministro de biogás a partir de excretas de ganado vacuno y residuos residenciales para el centro poblado Las Torres – Laredo”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTORES:**

Layza Narvaez, Jaime Isaias ([orcid.org/0000-0001-5665-8088](https://orcid.org/0000-0001-5665-8088))

Layza Narvaez, Jaime Isai ([orcid.org/0000-0001-5561-3064](https://orcid.org/0000-0001-5561-3064))

**ASESOR:**

Dr. Mirez Tarrillo, Jorge Luis ([orcid.org/0000-0002-5614-5853](https://orcid.org/0000-0002-5614-5853))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Generación, Transmisión y Distribución

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

**TRUJILLO - PERÚ**

**2023**

## DEDICATORIA

Damos gracias en primer lugar a Dios, que nos ha dado la sabiduría y fortaleza para culminar esta tesis de investigación.

A mis padres, que fueron mi mayor pilar, inspiración, y motivación, siendo lo más importante de nuestra formación profesional, llenándonos con su paciencia, amor y esfuerzo.

A mi Docente, el Dr. Jorge Luis Mírez Tarrillo; por brindarme y compartirme sus conocimientos en cada sesión de clases, donde lo demostró con esfuerzo y dedicación por enseñarnos un aprendizaje mejor.

Finalmente, dedicar a mi hermana, a mi sobrino y mis amigos, por apoyarnos y motivarnos cada día a seguir hacia adelante, brindándonos de su amor y comprensión cada día.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por guiar nuestros caminos, a pesar de los problemas y obstáculos, que hemos podido tener en este recorrido académico, llenándonos de bendiciones hacia nuestras vidas.

A mis padres, que nos motivaron en esta etapa profesional, donde nos demostraron su apoyo incondicional.

A Dr. Jorge Luis Mírez Tarrillo, por su dedicación, por su tiempo y por su motivación; así como, transmitirme sus conocimientos en el desarrollo de mi formación profesional y académica, por ser nuestra guía en el desarrollo de esta tesis y llegar a la culminación del mismo.

A la Universidad César Vallejo, que me apoyó en la validación de esta investigación.

A mi hermana, sobrino y compañeros, que con su apoyo moral y motivación culmine la presente tesis.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de Tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	6
III. METODOLOGÍA.....	38
3.1. Tipo y diseño de investigación. ....	38
3.2. Variables y operacionalización. ....	38
3.3. Población, muestra y muestreo .....	39
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	40
3.5. Procedimientos .....	40
3.6. Método de análisis de datos .....	40
3.7. Aspectos Éticos .....	40
IV. RESULTADOS. ....	41
V. DISCUSIÓN.....	72
VI. CONCLUSIONES .....	73
VII. RECOMENDACIONES.....	74
VIII. PROPUESTAS .....	75
REFERENCIAS.....	76
ANEXOS .....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Principales elementos del biogás producido por el proceso de digestión anaerobia. Referenciado de Manyi-Loh y otros autores, 2013.....	<b>15</b>
<b>Tabla 2:</b> Tiempo de retención según la temperatura. ....	<b>15</b>
<b>Tabla 3:</b> Usos del gas Natural.....	<b>15</b>
<b>Tabla 4:</b> Características y diferencias entre el principal componente del Gas Natural y GLP.....	<b>17</b>
<b>Tabla 5:</b> Residuos del sector agroindustrial que se utilizan para producir biogás (BRIZUELA, 2016). ....	<b>22</b>
<b>Tabla 6:</b> Valores de porcentajes de Sólidos Volátiles. (Olaya, 2009). ....	<b>24</b>
<b>Tabla 7:</b> Los sólidos volátiles influyen en la cantidad de biogás producido. (Olaya, 2009).....	<b>25</b>
<b>Tabla 8:</b> Consumo de Biogás en la cocina (Acosta y Abreu, 2005).....	<b>27</b>
<b>Tabla 9:</b> Resultados de demanda de energía eléctrica diaria de una vivienda del centro Poblado Las Torres – Laredo.....	<b>35</b>
<b>Tabla 10:</b> Características de un grupo electrógeno. ....	<b>37</b>
<b>Tabla 11:</b> Variables e indicadores.....	<b>389</b>
<b>Tabla 12:</b> Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....	<b>40</b>
<b>Tabla 13:</b> Cantidades que genera un animal al día de biogás, y relación de excretas agua. ....	<b>46</b>
<b>Tabla 14:</b> Zona, temperatura y tiempo de retención, tomado de Jaime Martí-Herrero, 2015. ....	<b>48</b>
<b>Tabla 15:</b> Temperaturas del mes de octubre según SENAMHI-Perú, 2023. ....	<b>48</b>
<b>Tabla 16:</b> Cantidad de residuos orgánico (R.O.) en restaurante.....	<b>53</b>
<b>Tabla 17:</b> Familias las Torres.....	<b>54</b>
<b>Tabla 18:</b> Las geomembranas hechas de polietileno de alta densidad (HDPE) y PVC tienen resistencia mecánica. ....	<b>59</b>
<b>Tabla 19:</b> Biogás necesario aplicando la fórmula (34).....	<b>69</b>
<b>Tabla 20:</b> Resultados.....	<b>71</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> Biodigestor de campana flotante (tipo hindú). (Chacón, 2017).....	9
<b>FIGURA 2:</b> Biodigestor de cúpula fija (tipo chino). (Chacón, 2017) .....	10
<b>FIGURA 3:</b> Biodigestor de bolsa (tipo balón). (Chacón, 2017).....	10
<b>FIGURA 4:</b> Proceso de fermentación del biogás (López, 2019) .....	12
<b>FIGURA 5:</b> Secuencia metabólica y grupos microbianos que intervienen en la digestión anaerobia. (Cárdenas, 2016).....	14
<b>FIGURA 6:</b> Esquema general de un biodigestor tubular. (Guzmán y Criollo, 2014).	28
<b>FIGURA 7:</b> Ubicación de la zona de estudio, caserío Las Torres – Laredo.....	42
<b>FIGURA 8:</b> Comportamiento de la temperatura durante el año 2023. ....	50

## RESUMEN

El estudio buscó desarrollar un biodigestor utilizando estiércol de ganado para producir electricidad en el centro urbano de Las Torres-Laredo. Esto podría ayudar a las casas sin electricidad y generar biogás a partir de desechos orgánicos domésticos.

La energía, es uno de los recursos renovables que es crucial para el bienestar de una sociedad. Un aumento excesivo de los combustibles como el petróleo y la gasolina puede estimular la economía actual hacia fuentes de energía alternativas; como, el biogás y mucho más en áreas sin acceso a la electricidad. En esta investigación, tuvo la finalidad de dar a conocer al centro poblado de las Torres, que cuenta con una granja de rebaño, siendo la materia principal; con esta alternativa buscamos el desarrollo de nuestra ciudad, a tener su propio gas natural, a partir de la recolección de estiércol de ganado, que será la materia prima del biodigestor; los pobladores darán información correspondiente, en donde se determinó, el consumo eléctrico de 3.925 kWh/día de una vivienda, para una petición eléctrica de 2.14 kW. Además, se examinó una muestra de ocho vacas grandes cuyas excreciones totales fueron de 120 kg por día, con una relación de 1:1, con un volumen de biomasa de 7.2 m<sup>3</sup> y un volumen de biogás de 9.6 m<sup>3</sup>. Se eligió un biodigestor tubular de plástico de 16.8 m<sup>3</sup> con un diámetro de 2 m, un radio de 1 m, una longitud de 5.35 m y una relación L/D de 2.68. La producción de electricidad teórica, es de 16.2 kWh/día. Se eligió un grupo electrógeno a biogás PUXIN de 1.5 kW, 220 V, 60 Hz, que produce 6 kWh/día. Por otro lado, también se determinó la cantidad de sustancia orgánica residencial producida en 12 hogares y un restaurante cada día; al obtener aproximadamente 125 kg de sustancia orgánica por día y con un tiempo de retención ideal de 28 días, se produce un metano de 287,99 m<sup>3</sup>. Por lo tanto, tomamos la decisión de proponer este tema como proyecto para colaborar en el progreso de nuestra ciudad.

**Palabras clave:** Diseño, gas natural, generación de electricidad, biodigestor.

## ABSTRACT

The study sought to develop a biodigester using livestock manure to produce electricity in the urban center of Las Torres-Laredo. This could help homes without electricity and generate biogas from domestic organic waste.

Energy is one of the renewable resources which is very important for the prosperity of a population, in addition the excessive increase of fuels such as oil and gasoline can move the current economy towards alternative energy sources such as biogas, and more so in areas that are not on electricity grids. The purpose of this study was to make the populated center "Las Torres", which has a cattle farm, the main material source. The development of the village is sought with this alternative by having its own natural gas from the collection of cattle manure, which is the raw material of the Biodigester. The information provided by the inhabitants is used to determine the electricity consumption of 3.925 kWh/day per house, for an electricity demand of 2.14 kW. Likewise, a sample of 8 large cows with a total amount of excreta of 120 kg/day was considered; with a ratio of 1:1, the volume of biomass in the biodigester was 7.2 m<sup>3</sup>, and the volume of biogas was 9.6 m<sup>3</sup>. A 16.8 m<sup>3</sup> plastic tubular biodigester was selected, with a roll diameter of 2 m, radius of 1 m, length of 5.35 m and L/D ratio of 2.68. The theoretical electricity production is 16.2 kWh/day. A biogas genset, PUXIN brand, 1.5 kW, 220 V, 60 Hz, electricity production reaches 6 kWh/day. Also, the amount of residential organic matter generated daily in 12 homes and a restaurant was determined, obtaining an estimate of 125 kg of organic matter per day and an ideal retention time production of 28 days was estimated, reaching a methane production of 287.99 m<sup>3</sup>. Therefore, it was decided to develop this topic by proposing it as a project to collaborate in the development of the village.

**Keywords:** Design, natural gas, electricity generation, biodigester.



## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, este proyecto de investigación denominado, "Propuesta de diseño de un biodigestor mediante el suministro de biogás partiendo de excretas de ganado, para la generación de electricidad y residuos domiciliarios en el asentamiento las Torres del Distrito Laredo", siendo fundamental para este trabajo. Con la colaboración de este proyecto, el biogás será utilizado como un recurso renovable, que nos permitirá producir gas y en electricidad utilizando un generador que funcione únicamente con metano y biogás. Además, el biogás se utilizará como fuente de energía, producida por la descomposición de los residuos domésticos, para abastecer a las familias nucleares y sustituir la necesidad de gas comercial.

Según, el Ministerio de agricultura peruana, conformada por la dirección globalizada de competitividad agraria (DGCA), ha promovido la mejora en agricultores de diferentes zonas rústicas; como así, contribuir a la competencia en la zona, a través del aprovechamiento de los residuos agrícolas que no son utilizados; con el fin de promover la utilización y rendimiento del biogás y biodigestores; como también, determinar políticas orientadas a definir a nivel nacional la estrategia de promoción. (Ministerio de desarrollo agrario y riego, 2019).

Por consiguiente, la digestión anaeróbica se ha utilizado en estos países más por consideraciones medioambientales que puramente energéticas. Por ejemplo, a finales de 2011, había más de 4 mil biodigestores en funcionamiento en Alemania, 55 en Dinamarca y 350 en Austria, entre otros países. Mientras que, en Estados Unidos y Canadá había más de 160 biodigestores en funcionamiento en 2010. Sin embargo, en los países pobres se ha fomentado la productividad en pequeña escala del biogás, principalmente a partir de las excretas del ganado, siendo la meta obtener abono y energía orgánica. Según las estimaciones, China alberga más de 30 millones de digestores domésticos, luego en la India, con 4 millones; Nepal, con 2 millones; Bangladesh, con 60 mil, y naciones africanas, como, Etiopía y Kenia, con más de mil biodigestores. (Rajendran, Aslanzadeh y Taherzadeh, 2012).

Ciertamente, las Organizaciones mundiales como la ONU y FAO abogan por el uso de la bioenergía, que se produce utilizando biomasa natural y sobrante de la materia prima en crear productos como bioalcoholes, biodiésel, biogás, biohidrógeno o pellets, entre otros. (Brizuela, 2016).

Además, la tesis de investigación realizada, nos demuestra que, el biogás puede utilizarse para generar electricidad. El biogás se produce en el interior de un biodigestor de bolsa (tipo globo), donde se tuvo en cuenta una muestra de 15 vacas adultas y cuatro terneras que no estaban estabuladas. En el caso del ganado estabulado por la noche, se utilizó el 25 % del estiércol, lo que arrojó un total de sesenta kg/día de excrementos. La cantidad de biomasa era de 3.62 m<sup>3</sup>, mientras que el volumen de biogás era de 4.82 m<sup>3</sup>. La producción de electricidad en el caso del grupo electrógeno de biogás de 1.5 kW, 220 V, 60 Hz y marca PUXIN es de 7.23 kWh al día. (Gutiérrez, 2021). Por lo tanto, un biodigestor con residuos orgánicos residenciales durante los 28 días de retención, alcanza una producción de metano de 336.37 m<sup>3</sup> para uso doméstico. (Ardila, 2020).

Siendo, en la actualidad del centro poblado del sector “Las Torres” – Distrito de Laredo, existen algunas viviendas que no cuentan con el suministro de corriente eléctrica, debido a que se encuentran ubicadas lejos de la ciudad, este proyecto nos dará una alternativa para poder solucionar esta realidad. Por otra parte, los pobladores de Las Torres de Laredo, han utilizado formas tradicionales, económicas y rudimentarias de cocción de sus alimentos, mediante uso de leña, con el consecuente daño hacia su salud; siendo las investigaciones elaboradas mediante Ministerio de Salud de zonas rústicas, menciona que 21 % en enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y 36 % en enfermedades infecciones respiratorias agudas (IRAS), se están generando a causa de quema por biocombustibles sólidos (bosta, leña, etc.); es evidente que en todo el mundo, 733 millones de personas carecen de acceso a la electricidad. Para el año 2030, habrá 10 millones más de personas sin electricidad que lo han proyectado, lo que significa que 670 millones de personas seguirán sin electricidad al ritmo actual. Aproximadamente, 2600 millones de personas

cocinan o calientan sus hogares con combustibles contaminantes, que son funesto para el medio ambiente y salud. Por lo tanto, se ha considerado adecuado en la investigación dimensionar un sistema de obtención de energía (gas natural), a través de un biodigestor para la comunidad de Las Torres.

Dentro, del presente trabajo de investigación de este proyecto, se propone la utilización de los residuos orgánicos, se calcula la porción de excremento producido diariamente, el animal vacuno del ganado y por otro lado, el número de desechos residenciales orgánicos en la población, podrá servir para la producción de biogás para el aprovechamiento energético (gas natural), y para la generación de electricidad; ¿Se puede sugerir un modelo de biodigestor que utilice excretas de ganado y desechos residenciales para producir electricidad y biogás en el centro urbano de Las Torres-Laredo?

Siendo así, la utilización de excrementos porcinos y bovinos para la productividad de captación de energía y biogás, como una opción de energía renovable sumamente eficaz en términos de ahorro de costos, a pesar de que la creciente demanda mundial de energía basada en combustibles fósiles ha provocado mayores daños medioambientales. (García y Ponce, 2020).

Frente a, tratarse de una fuente de energía natural y necesaria que lidia con la alteración del clima y/o amortiguar sus impactos y efectos más devastadores, constatados en los últimos casos en diversas partes de nuestro país y del mundo, las energías renovables, como la energía principal, es una alternativa para ofrecer una solución a una situación problemática. (Collasos y Vargas, 2019).

Dado que, puede ser una de las tecnologías más sencillas de implantar, sobre todo en las regiones rurales, el biogás ha suscitado mucho interés como fuente de energía sostenible. Su crecimiento potencial tiene en cuenta, que la generación de biogás, ayuda en la producción de biofertilizantes y en algunas situaciones, el tratamiento de cuestiones sanitarias. (Varnero, 2011)

El centro poblado Las Torres, cuenta con su propio rancho de ganado vacuno, terneros, etc., en donde se obtiene leche y carne, así mismo, como los desechos orgánicos del animal (excretas), que son una fuente energética que se encuentra en los establos o ranchos de la población.

Dentro de lo social, las actividades agropecuarias, con el tiempo cooperaron al daño del ecosistema, mediante las acciones que realizan en las zonas agrarias del país, teniendo como resultado la polución de los recursos naturales y el suelo, cada vez más grave. En Laredo existen lugares que crían ganados, considerándose un lugar de hábito rural, en lo cual se crían animales grandes como la vaca, el toro y el ternero, asimismo, existen agricultores que practican la siembra de pastos para sus animales, teniendo en cuenta en aprovechar el excremento de ganado y de los residuos residenciales que se utilizarán para la generación de biogás.

En lo ambiental, los excretos ganaderos, o heces, se consideran una polución ambiental causante del calentamiento global; además se utiliza la producción del biogás para producir menos contaminación ambiental y se obtiene mediante el estiércol del ganado; por lo tanto, el biol puede usarse como abono natural en la agricultura. (Gutiérrez, 2021).

En el centro poblado las Torres, el excremento del ganado puede provocar enfermedades y mal olor a los habitantes que habitan alrededor, trayendo moscas a la población y una mala comodidad de los habitantes de la zona.

En lo económico, un biodigestor tipo bolsa elástica (tipo balón), conocido como una estructura flexible, es más económico, que sería una buena alternativa y selección para el diseño y fácil de conseguir en el mercado, según la medida de sus dimensiones de gran escala o pequeña, servirá de obtención de abono y rendimiento del biogás para la agricultura, satisfaciendo a la población Las Torres.

Teniendo como, objetivo general, propuesta de diseño de un biodigestor para la generación de electricidad y suministro biogás a partir de excretas de ganado vacuno y residuos residenciales para el centro poblado “Las Torres” – Laredo; por lo tanto, en nuestros objetivos específicos, tenemos: determinar la demanda, de consumo de energía eléctrica de cada artefacto eléctrico que se posee en la vivienda, como también, seleccionar el tipo de diseño del biodigestor, mediante, determinar la cantidad de excremento del ganado vacuno y los residuos residenciales en el centro poblado “Las Torres”, como materia prima, también, dimensionar las características del biodigestor; desde luego, dar las características del generador eléctrico que funciona a base de biogás, que hay en el mercado. Siendo, la investigación basada en una propuesta de diseño, esto se justifica porque cada día la tecnología va creando diversas máquinas que ayudan a la población. El diseño de una máquina como biodigestor ayudará a las personas más necesitadas, que con aporte de sus animales darán la materia prima principal para elaborar recursos en base a desechos orgánicos y residuos residenciales, como el gas natural y fuentes energéticas renovables que disminuirían el costo de la energía y beneficio comunitario. Finalmente, la importancia de esta investigación es referente para disminuir la contaminación ambiental, causante de enfermedades de la humanidad y ayudará a las personas de bajo recursos en la cocción de sus alimentos, usando biogás, como combustible dentro de estándares de calidad, de distintas normas y costo bajo; así como, que permite proporcionar una solución definitiva de los desechos y/o residuos orgánicos que causan malestar en las familias nucleares de “Las Torres”.

## II. MARCO TEÓRICO

A continuación, de este proyecto académico de investigación, consideramos a los siguientes trabajos previos:

### 2.1. Antecedentes.

#### 2.1.1. Nivel Internacional.

(Ferreira et al., 2019), el estudio "Generación de energía utilizando biogás de mandioca de estiércol de vaca" como inóculo: Evaluación del potencial de la comunidad Quilombola (Brasil), publicado en la revista internacional de investigación y ciencia avanzadas en ingeniería, se enfoca en áreas que a menudo utilizan fuentes de energía renovables como la solar, el biogás, el viento o la electricidad. La energía se genera a partir del uso de estiércol de vaca para generar biogás como fuente de energía sostenible, compuesta principalmente de CO<sub>2</sub> (35 % a 40 %) y CH<sub>4</sub> (60 %). El estudio indica que el tratamiento de aguas residuales puede generar biogás, donde la yuca se utiliza para producir harina seca, y un tanque sellado con una capacidad de 60 litros puede generar 1389.312 cm<sup>3</sup> de biogás por año que, combinado con harina seca como sustrato, inóculo y excremento de vaca, puede generar 214 kWh de electricidad por año.

(García y Ponce, 2020), en un estudio realizado en Portoviejo, Manabí, Ecuador, en la Universidad Técnica de Manabí, se desarrolló un biodigestor en boñiga de bovino para convertir el biogás a energía eléctrica, se realizó un diseño de un biodigestor, en donde se recolectó información mediante estudios previos de recopilación bibliográfica, donde se muestreo el estiércol de 6 vacas durante 5 días consecutivos obteniendo un promedio de 7.5 kg por día, en los cuales se construyeron dos biodigestores prácticos en este estudio utilizando dos tambos de 20 litros. Se utilizaron tuberías y válvulas, el primero conocido como biodigestor experimental, para monitorear el tiempo de permanencia del sustrato y recopilar datos de temperatura, probeta y pruebas de flama durante

el proceso de generación de biogás. Se llegó a la conclusión donde se da a conocer la producción diaria en gas metano es de 2.83 m<sup>3</sup>, lo que representa, 45 % del valor total. En el criadero debe cubrir las actividades en las que utiliza gas líquido.

(Nakana et al, 2019), en el estudio "Introducción de digestores domésticos de biogás en los hogares rurales del municipio de Maluti-a-Phofung, Sudáfrica", donde se realizó en la Academia de Ciencias de Sudáfrica, teniendo como el objetivo del estudio en introducir el biogás como fuente alternativa de energía para los ganaderos, en la provincia de Free State, Sudáfrica. Para aumentar la adopción de la tecnología de los biodigestores por parte de la comunidad agrícola rural, asimismo, se instalaron biodigestores prefabricados de 6 m<sup>3</sup> a 12 m<sup>3</sup> en todos los hogares y tras alimentar continuamente las unidades con estiércol de ganado, en lo cual la producción de biogás aumentó gradualmente, finalmente se demostró en el seguimiento de la producción de biogás, que dos tercios de los hogares, el 80 % de los hogares usan el biogás para cocinar solo en verano, mientras en invierno la producción de biogás fue mínima debido al clima extremadamente frío, en lo cual los agricultores de la zona de estudio mostraron un gran aprecio por la tecnología de los biodigestores.

#### 2.1.2. Nivel Nacional.

(Collasos, et al, 2019), estudio publicado como tesis por la Universidad Nacional de Jaén en Perú, titulado como "Diseño de un sistema de biodigestores para la utilización de residuos orgánicos en el Camal de Municipio en Jaén, Perú". Se realizan sacrificios de animales vacunos y porcinos (ovinos y otros con poca frecuencia), y se producen desechos orgánicos (principalmente excrementos) que son vertidos en los efluentes cercanos. Se sugiere la creación de un sistema de biodigestores para aprovechar energéticamente los desechos orgánicos. Además, se descubrió que el camal municipal producía 646.5 kg de materia orgánica diariamente. Se construyeron tres biodigestores tubulares en semejante, se determinaron su magnitud y componente básico para su

funcionamiento, y se opinó que producían 18.91 m<sup>3</sup> de biogás al día. Sin embargo, la demanda máxima de energía del municipal camal es de 2.7 kW, por lo que se utilizó un generador eléctrico de cinco kW para cubrir la demanda del pueblo.

(Prada, 2019), en su tesis realizada en la Universidad Cesar Vallejo, titulada “Obtención de biogás a partir de estiércol de bandada para suministro de las incubadoras de la Agropecuaria Chimú”, en donde se realizó un inventario de bandada existentes en la Agropecuaria Chimú, con la finalidad de pesar la cantidad de excretas, se obtiene en medir la porción de biogás, en obtener con las heces obtenido de las bandadas, en donde se planteó un biodigestor con una capacidad de 33.7 m<sup>3</sup> de biogás, iniciando con 8.2 m<sup>3</sup> diaria de biogás, que se obtiene de 276.12 kg/día de excremento de bandada en Puerto Eten, Agropecuaria Chimú – Lambayeque.

(Gutiérrez, 2021), en la investigación de tesis realizada en la Universidad Politécnica Amazónica - Perú, titulada “Diseño de un biodigestor para producir electricidad con estiércol de ganado en el futuro pueblo, distrito de Bagua grande”. La Institución Educativa 16599 Future necesita 1.129 kW de electricidad y usa 5.03 kWh/día. Se tomó una muestra de quince vacas grandes y cuatro terneros no estabulados. La cantidad total de excretas para el ganado estabulado de noche es de 60.3 kg/día, y solo se utilizó el 25 % del estiércol. El biodigestor tenía un volumen de 3.6 m<sup>3</sup> de biomasa y 4.8 m<sup>3</sup> de biogás. Eligió un biodigestor tubular de plástico de 8.44 m<sup>3</sup> con un ancho de rollo de 1.75 m<sup>3</sup>, un radio de 0.56 m<sup>3</sup>, una longitud de 8.56 m<sup>3</sup> y una relación L/D de 7.64 m. La producción de electricidad teórica es de 20.89 kilovatios por día. Un generador eléctrico que funciona a base de metano, marca PUXIN, de 1.5 kW, 220 V, 60 Hz, genera 7.23 kWh/día.



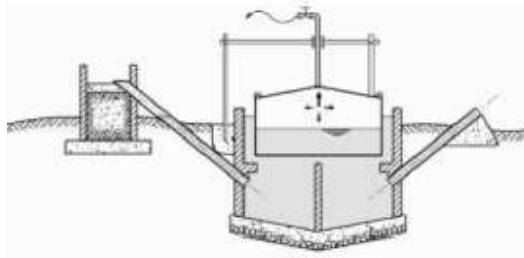
## 2.2. Conceptos Teóricos.

2.2.1. Biodigestor, el término "biodigestor" se refiere a un recipiente cerrado y hermético, donde se almacena materia orgánica y agua, y que tiene una temperatura media de 22 a 30 °C. Permite la descomposición anaeróbica, que produce fertilizantes y gas metano, durante un período de tiempo. El contenedor puede ser de plástico, ladrillo o cemento. (Mullo et al., 2018).

### Tipos de Biodigestores.

#### a) Biodigestor modelo hindú.

El tanque primario (recipiente de la digestión anaerobia), tendrá lugar a menudo se entierra en la tierra tras la digestión de la biomasa, para aprovechar la temperatura relativamente estable, así como para favorecer el funcionamiento de los microorganismos del suelo. Se denomina "cúpula" o "campana flotante" de hormigón y tiene un ritmo de fermentación más rápido. El biogás producido se mantiene en el biodigestor gracias a la tapa metálica en forma de campana, que se asienta en la parte superior y se ajusta la coacción interna. (Freitas, 2019).

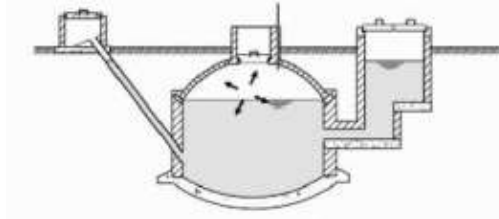


**FIGURA 1:** Biodigestor de campana flotante (tipo hindú). (Chacón, 2017)

#### b) Biodigestor modelo chino.

Es un biodigestor menos complejo y caro que el hindú. Es cilíndrico, está compuesto de hormigón, tiene una cúpula o campana fija y está enterrado en su totalidad. Además, tiene alimentación semicontinua, en la que la producción de biogás se mantiene en la cúpula, haciendo que la presión interna aumente cuando baja la eficiencia del digestor y disminuya en caso de descompresión.

El edificio que alberga el almacenamiento de biogás está formado por una cámara de fermentación cilíndrica de calicanto y una cubierta trinchera. (Freitas et al., 2019).



**FIGURA 2:** Biodigestor de cúpula fija (tipo chino). (Chacón, 2017)

c) Biodigestor tipo bolsa

Sus componentes principales son una bolsa de polietileno o un tubo de PVC completamente sellado. También, se conoce como una estructura flexible con una entrada y una salida. La construcción del edificio se consideró asequible, y el biogás que producía se almacenaba entre el 25 % y el 75 % de la materia prima. (Fandiño, 2018). Sin embargo, es necesario que el material digerible sea persistente al fulgor UV. Los metanógenos podrían quedar inactivos. (García et al., 2017).



**FIGURA 3:** Biodigestor de bolsa (tipo balón). (Chacón, 2017)

2.2.2. La biomasa es toda la materia orgánica, incluidas las plantas y animales, los desechos agrícolas (como el maíz, el café, el arroz, etc.), los desechos de la serrería (como las podas, las ramas, el serrín y las cortezas) y los desechos urbanos (como las aguas residuales y los desechos orgánicos),

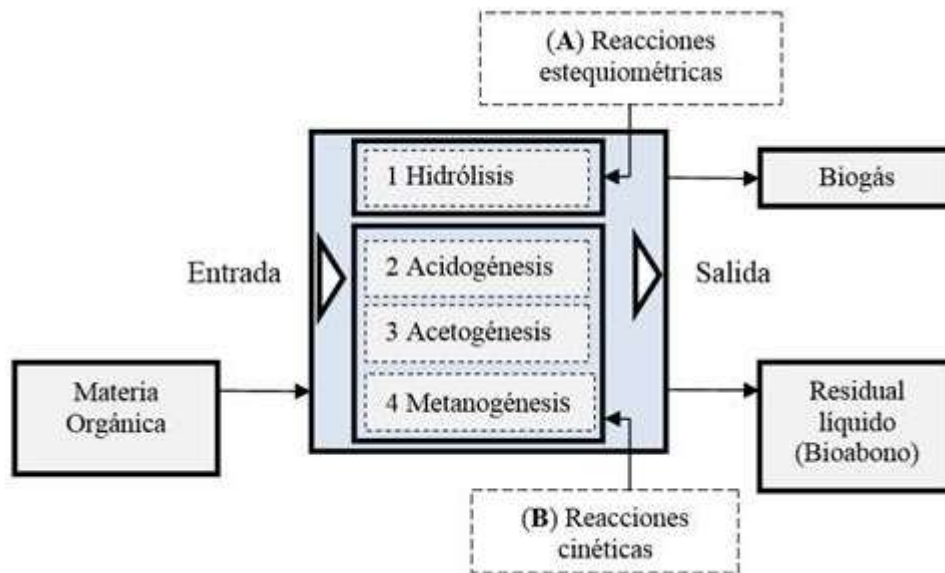
que se pueden utilizar para generar energía. Nuestros antepasados han utilizado este recurso renovable desde que descubrieron cómo hacer fuego. (Luna De la Fuente, 2018)

2.2.3. Biogás, es una mezcla de gases cuyo constituyente principal es metano luego dióxido de carbono y se encuentran presentes otros gases, como  $H_2S$ ,  $H_2$ ,  $NH_3$ . En menor proporción es  $N_2$ ,  $H_2$  y  $O_2$ . Esta composición depende de los materiales digeridos y del funcionamiento. (Arenas, 2019).

2.2.4. La digestión anaeróbica es la reducción biológica o descomposición de la materia somática en ausencia de aire. Los microorganismos (bacterias) específicos intervienen en este proceso para convertir el material a digerir en productos útiles, como el biol y el biogás con un alto contenido de  $CH_4$ , donde en este proceso poseen cualidades energéticas. (Toala, 2013).

- Hidrólisis, es un proceso químico, donde el agua participa en la hidrólisis, como una sustancia, para romper sus enlaces. La hidrólisis produce moléculas o iones tanto inorgánicos y orgánicos. Las palabras griegas "hydro" de agua y "lysis" de ruptura son el origen de la palabra. (Bolívar, 2019)
- Acidogénesis, es un proceso químico en donde algunas sustancias se transforman, adquiriendo características ácidas, es un proceso que se caracteriza por aumentar las concentraciones de iones hidrógeno ( $H^+$ ) en el suelo o el agua, el aumento de la acidificación suele interpretarse como una degradación de la calidad ambiental. (Adekunle & Okolie, 2015). Los acetatos, el amoníaco, el hidrógeno, el  $CO_2$  y los ácidos orgánicos volátiles simples, son producidos por las bacterias a partir de las sustancias solubles sobrantes de la etapa anterior. Las bacterias anaerobias o facultativas pueden llevar a cabo esta etapa (Toala, 2013).

- Acetogénesis, en el proceso las bacterias anaerobias, crea mediante el hidrógeno y dióxido de carbono, el acetato, en donde la arquea metanogénica interactúa, contribuye entre sí, a fin de convertirse en ácidos grasos resultados de esencias propias de la metanogénesis. (Toala, 2013).
- La metanogénesis es el proceso en donde las bacterias producen  $CH_4$ . Es la última etapa en la degradación de la biomasa y un tipo de metabolismo microbiano muy significativo y común, el hidrógeno, ácido acético y dióxido de carbono se convierten en metano y dióxido de carbono durante el proceso de digestión anaerobia, que ocurre en la última etapa. (Lijarza Gálvez ,2017).



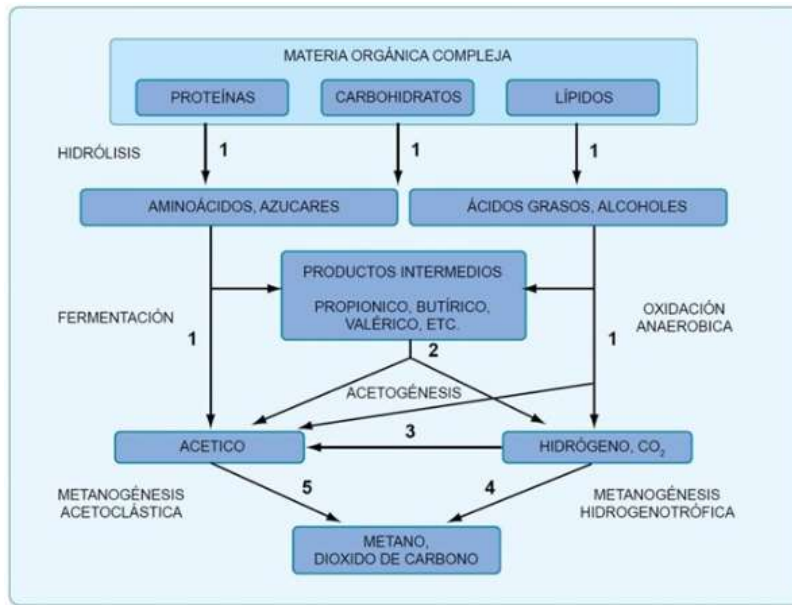
**FIGURA 4:** Proceso de fermentación del biogás (López, 2019)

## 2.2.5. ETAPAS SOBRE LAS BACTERIAS EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA.

Las bacterias anaerobias están organizadas en 6 grupos.

Las bacterias hidrolíticas inician el proceso descomponiendo la sustancia orgánica en pequeñas partículas, formando moléculas simples solubles en agua. Además, las bacterias hidrolíticas colaboran con otro grupo de bacterias (bacterias fermentativas o ácido génicas). Estas moléculas disueltas se pueden encontrar en una variedad de productos, como alcohol, ácidos orgánicos de bajo peso molecular, ácidos grasos volátiles como el propiónico, el butirato y el ácido acético, así como hidrógeno y dióxido de carbono. En este proceso, un grupo de bacterias llamado acetogénesis comienza su trabajo transformando ácidos orgánicos y alcoholes en acetato, hidrógeno molecular y  $\text{CO}_2$ , que se agregan a los ya producidos.

En el proceso, se activan varias arqueas metanogénicas que producen metano. Estas arqueas se dividen en dos grupos: las arqueas metanogénicas acetato plásticas, que transforman el acetato en metano y dióxido de carbono. De esta manera, se eliminan moléculas complejas y se produce hasta el 70 % del metano total. Por otro lado, las arqueas hidrógeno tróficas metanogénicas agotan el  $\text{H}_2$  molecular y el  $\text{CO}_2$ , lo que reduce aproximadamente el 30 % del  $\text{CH}_4$  restante. Es necesario que se consuman el  $\text{H}_2$  y el  $\text{CO}_2$  que se habían producido anteriormente para mantener el equilibrio en el proceso. De lo contrario, el almacenamiento de  $\text{H}_2$  podría impedir la acetogénesis y causar un exceso no deseado de ácidos grasos volátiles. En situaciones en las que el medio es ácido y esto conduce a la inhibición del proceso, las bacterias sulfato reductoras son el último grupo de microorganismos que se ocupa de degradar los sulfatos presentes en la materia orgánica. Cuando utilizan el hidrógeno molecular disponible para reducir los sulfatos, el sulfuro de hidrógeno, finalmente se obtiene una mezcla gaseosa compuesta de metano entre 60 y 70 %, dióxido de carbono entre 30 y 40 % y una pequeña cantidad de sulfato de hidrógeno. Esta mezcla se conoce como biogás.



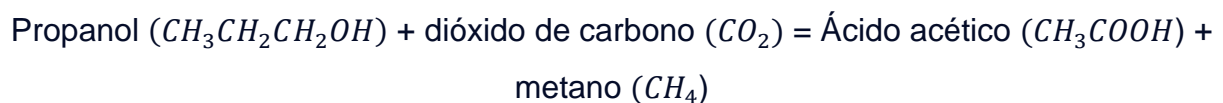
**FIGURA 5:** Proceso metabólico y grupos microbianos que intervienen en la digestión anaerobia. (Cárdenas, 2016).

Las bacterias metanogénicas estrictamente anaerobias convierten las sustancias químicas en dióxido y metano de carbono durante el proceso de metanización. Según Saraz, 2007, nos relata en su artículo de investigación sobre el proceso de la digestión anaerobia y cuáles son sus componentes. Como se ha demostrado, el metabolismo para crear biogás se lleva a cabo a partir de alcohol, ácidos volátiles, y por la misma disminución de dióxido de carbono.

### Metanización a partir de los ácidos volátiles.



### Metanización a partir de alcohol y dióxido de carbono.



## Metanización a partir de la reducción de CO<sub>2</sub>.



**Tabla 1**

Principales elementos del biogás producido por el proceso de digestión anaerobia. Referenciado de Manyi-Loh y otros autores, 2013.

Componentes	Símbolo	Porcentaje (%)
Metano	CH <sub>4</sub>	50 - 75
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	25 - 45
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1 - 2
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	< 1
Vapor de agua	H <sub>2</sub> O	2 - 7
Oxígeno	O <sub>2</sub>	< 2
Sulfuro de Hidrógeno	H <sub>2</sub> S	< 1

**Tabla 2**

Tiempo de retención según la temperatura.

Región Característica	Temperatura (°C)	Duración de detención en días.
Altiplano	10	60
Valle	20	30
Trópico	30	20

Nota: Elaboración propia, tomado de Martí, 2008.

**Tabla 3:**

Usos del gas Natural.

<b>Sector</b>	<b>Aplicaciones/Procesos</b>	<b>Combustible que puede constituir</b>
<b>Comercio y servicios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calefacción central</li> <li>• Aire acondicionado</li> <li>• Cocción de alimentos</li> <li>• Agua caliente</li> </ul>	Carbón, fuel oíl, electricidad, gas de ciudad, gas licuado, kerosene.
<b>Residencial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cocina</li> <li>• Calefacción</li> <li>• Agua caliente</li> <li>• Aire acondicionado</li> </ul>	Electricidad, gas de ciudad, gas licuado, kerosene, leña
<b>Transporte de Pasajeros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taxis.</li> <li>• Buses.</li> </ul>	Gasolina, petróleo, diésel
<b>Industria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación eléctrica.</li> <li>• Tratamiento térmico.</li> <li>• Hornos de fusión.</li> <li>• Secado.</li> <li>• Generación de vapor.</li> <li>• Industria de alimentos.</li> <li>• Fundición de metales.</li> <li>• Sistema de calefacción.</li> <li>• Producción de petroquímicos.</li> <li>• Cocción de producción cerámico</li> <li>• Temple y recocido de metales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Carbón</li> <li>✓ Electricidad</li> <li>✓ DHM</li> <li>✓ Diesel</li> <li>✓ Fuel oíl</li> <li>✓ Gas liquido</li> <li>✓ Gasolina</li> <li>✓ Kerosene</li> <li>✓ Leña</li> </ul>
<b>Energía</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cogeneración eléctrica.</li> <li>• Centrales térmicas.</li> </ul>	Carbón, Fuel Oíl
<b>Otros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El gas natural también es usado como materia prima en proceso químicos e industriales.</li> <li>• Puede ser convertido a hidrogeno, etileno o metanol: materia básica en producción de plásticos y fertilizantes.</li> </ul>	
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ahorros en mantenimiento de equipo.</li> <li>• Menos emisión de contaminantes.</li> </ul>	

Nota: Elaboración propia, tomado de Torres, 2008.



### Diferencia entre el Gas Natural y el Gas Licuado de Petróleo.

El gas natural, que se transporta a través de tuberías conocidas como gasoductos a los centros de consumo, es diferente del gas licuado de petróleo. El gas natural es un hidrocarburo en forma gaseosa pura con su componente principal el metano, y es más liviano que el aire, por lo que en caso de efusión se disipa en la atmósfera sin formar acumulaciones expuesta. Por otro lado, el gas licuado de petróleo (GLP) es un combustible compuesto por propano ( $C_3H_8$ ) y butano ( $C_4H_{10}$ ), que se produce a partir del gas natural y del petróleo mediante condensación y altas presiones. Es más pesado que el aire, por lo que en caso de efusión permanece sobre la superficie y solo se disipa con la circulación del aire.

Se almacena en forma líquida para su distribución en tanques.

#### **Tabla 4**

Características y diferencias entre el principal componente del Gas Natural y GLP.

<b>Características y diferencias entre el principal componente del Gas Natural y GLP</b>	
<b>METANO</b>	<b>GLP</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Composición 90 % (<math>CH_4</math>)</li><li>• Presión de suministro 21 mbar</li><li>• Color – Olor: Incoloro – Inodoro</li><li>• Estado físico: Gaseoso sin límite de compresión. Líquido a - 160 °C y a presión atmosférica.</li><li>• Gravedad específica (vapor) es de 0.60.</li><li>• Poder Calorífico 9200 Kcal/m<sup>3</sup>.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Composición 60 % Propano y 40 % Butano.</li><li>• Gravedad específica (vapor) es de 1.56 y 2.05.</li><li>• Presión de suministro 21 mbar</li><li>• Color – Olor: Incoloro – Inodoro</li><li>• Estado físico: Líquido a 20 °C con presión. manométrica de 2.5 bar. Líquido a - 160 °C y a presión atmosférica.</li><li>• Fórmula Química: <math>C_3H_8</math> Y <math>C_4H_{10}</math></li><li>• Poder Calorífico 22.244 Kcal/m<sup>3</sup>, 6.595 Kcal/Kg.</li></ul>
Límite inferior de explosividad (LEL) = 5 %	Límite inferior de explosividad (LEL) = 2.1 %
Límite superior de explosividad (UEL) = 15 %	Límite superior de explosividad (UEL) = 9.5 %
Temperatura de auto ignición: 537 °C.	Temperatura de auto ignición: 450 °C.

Nota: Elaboración propia, tomado de Osinergmin, 2015, “El gas natural y sus diferencias con el GLP”.

### 2.3. Biodigestor Tubular.

Además, son conocidos por ser los más asequibles y se han utilizado en países del sureste asiático, España y países latinoamericanos como Cuba, Colombia y Brasil. Sin embargo, se han llevado a cabo varios proyectos en países como Uruguay, Perú y Bolivia. (Guzmán y Criollo, 2014).

#### 2.3.1. COMPONENTES.

##### 2.3.1.1. Tanque de Digestión para estiércol de ganado vacuno.

Se trata de una cámara de fermentación anaerobia, de geometría cilíndrica, cuya capacidad viene determinada por el volumen de materia prima a degradar, donde se mantiene la materia orgánica durante una duración de detención en el que se produce la descomposición, degradación y liberación de biogás. (Guzmán y Criollo, 2014).

Fórmulas a emplear:

#### **Carga diaria ( $C_d$ ).**

$$C_d = S + H_2O \quad (1)$$

Dónde:

$C_d$  : Carga diaria de la biomasa (kg).

$S$ : Cantidad de sustrato disponible (kg).

$H_2O$  : Cantidad de agua (l).

#### **Cantidad de sustrato ( $S$ ).**

$$S = C_{EX-u} N_a \quad (2)$$

Dónde:

$S$  : Cantidad de sustrato (kg).

$C_{EX-u}$  : Porción de excremento por animal al día (kg).

$N_a$  : Cifra de animales rumiantes.

La manera en que se gestiona el ganado local influye la cantidad de estiércol accesible. Debe utilizarse el 100 % del estiércol del ganado estabulado, pero sólo el 25 % del ganado estabulado durante la noche. En consecuencia, el volumen total de excrementos se utilizará para el 25 % del proyecto. (Gutiérrez, 2021)

Es bien sabido que los sólidos y el agua están presentes de forma natural en los excrementos de las vacas. La relación entre la cantidad de sustrato (S) y agua ( $H_2O$ ), suponiendo una relación 1:1, porciones iguales, determina la cantidad de mezcla que entra en el tanque hermético. (García y Ponce, 2020).

Indicando que, por cada porción de excremento, se requiere de agua, como resultado se obtiene la siguiente ecuación.

$$C_d = S + H_2O = \frac{\text{kg}}{\text{día}} \quad (3)$$

Equivalente a una carga semanal para el biodigestor.

$$C_d = S \times 7 + H_2O \times 7 = \frac{\text{kg}}{\text{semana}} \quad (4)$$

**Volumen de la biomasa en el digestor ( $V_{bm-bg}$ ).**

$$V_{bm-bg} = V_{bm-disp} \cdot T_R \quad (5)$$

Dónde:

$V_{bm-bg}$  : Volumen de la biomasa en el digestor ( $m^3$ ).

$V_{bm-disp}$ : Volumen de la biomasa disponible ( $m^3$ ).

$T_R$ : Tiempo de retención en el biodigestor (días).

La duración de retención de la materia orgánica, se determina de acuerdo a la temperatura ambiente, donde se ubicará el biodigestor.

### **Volumen de la biomasa disponible ( $V_{bm-disp}$ ).**

Las heces de vaca están compuestas por un dieciséis por ciento de materia orgánica seca y un 84 % de agua, lo que las hace ideales para un digestor de 1 a 1. Podemos inferir que la densidad de la mezcla es casi idéntica a la del agua porque contiene un 92 % de agua y un 8 % de materia orgánica seca. Entonces, utilizando la ecuación, podemos determinar el volumen ocupado por la biomasa disponible dada la densidad del estiércol bovino ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ). (Fandiño, 2018).

$$V_{bm-disp} = \frac{C_d}{\rho_{agua}} \quad (6)$$

Dónde:

$V_{bm-disp}$  : Volumen de la biomasa disponible ( $\text{m}^3$ ).

$C_d$  : Carga diaria de la biomasa (kg).

$\rho_{agua}$  : Densidad del agua ( $\text{kg/m}^3$ ).

### **Volumen de Biogás ( $V_g$ ).**

El volumen de biogás que genera materia durante el período de almacenamiento (Fandiño, 2018).

$$V_g = C_d (\lambda) \quad (7)$$

Dónde:

$V_g$  : Volumen de Biogás ( $\text{m}^3$ ).

$C_d$ : Carga diaria de la biomasa (kg).

$\lambda$ : Rendimiento biogás ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )

**Volumen total del biodigestor ( $V_{Td}$ ).**

El volumen total del biodigestor se dividirá en una parte líquida y otra gaseosa, ocupando la parte líquida el 75 % del espacio y la parte gaseosa el 25 % restante. La porción gaseosa actuará como campana o gasómetro para el metano creado durante la desintegración. (Martí, 2008).

$$V_{Td} = V_{bm-bg} + V_g \quad (8)$$

Dónde:

$V_{Td}$  : Volumen total del biodigestor ( $m^3$ ).

$V_{bm-bg}$ : Volumen de la biomasa en el digestor ( $m^3$ ).

$V_g$  : Volumen del biogás producido ( $m^3$ ).

**Densidad de la mezcla ( $\rho_m$ ).**

$$\rho_m = \frac{m}{V_{Td}} \quad (9)$$

Dónde:

$\rho_m$ : Densidad de la mezcla ( $kg/m^3$ ).

$m$  : Masa (kg).

$V_{Td}$  : Volumen total del biodigestor ( $m^3$ ).

**Tabla 5**

Residuos del sector agroindustrial que se utilizan para producir biogás (BRIZUELA, 2016).

<b>Tipo de Residuo</b>	<b>Producción de Biogás litros de Biogás por cada kg de Solido fresco</b>	<b>Contenido de Solidos (% de S.T.)</b>	<b>Contenido de Materia Orgánica Volátil (% de S.V.)</b>
Estiércol Aviar Parrilleros.	228 (promedio)	80	79
Desechos de huerta.	39 - 63	11	94
Estiércol Vacuno.	15 - 40	18 - 20	83
Estiércol Aviar Ponedoras.	74 (promedio)	24	60
Estiércol Porcino.	19 - 30	7 - 11	84
Desechos de Comida.	75 - 120	19 - 20	92 – 94
Sorgo Granífero.	550 (promedio)	96	98
Residuos Amiláceos o Azucarados (Papas, Mandioca, Remolacha).	100 (promedio)	18	94

Según Brizuela, la tabla presenta una lista de los residuos agrícolas e industriales, usados como un recurso para la biodigestión anaerobia, que produce biogás.

## 2.4. Fórmula para biodigestor con residuos residenciales.

El proceso de digestión es una fermentación semicontinua en la que la materia compuesta es constante (cada día), donde se usa materia orgánica como desechos domésticos de cocina en una proporción de uno a uno, uno de desechos y otro de agua. Olaya (2009) afirma que, en el diseño de un biodigestor, el 16 % equivale a 0.16 de la masa diaria de desechos sólidos y el 8 % equivale a 0.08 del sólido total. La suma de los residuos sólidos diarios y la mezcla de agua se conoce como sólido total.

$$T_{rs} = 0.16 ( T_{rsd} ) \quad (10)$$

Dónde:

$T_{rs}$  : Total aprovechamiento residuos sólidos (kg).

$T_{rsd}$  : Total de residuos residenciales diarios (kg).

Para hallar la masa del agua requerida para la mezcla.

$$\frac{T_{rs}}{(T_{rsd} + m_{H_2O})} = \frac{8}{100} \quad (11)$$

Dónde:

$T_{rs}$  : Total aprovechamiento residuos sólidos (kg).

$T_{rsd}$  : Total de residuos residenciales diarios (kg).

$m_{H_2O}$  : Masa del agua requerida para la mezcla (kg/día).

Olaya (2009) afirma que en su trabajo de investigación nos proporcionó cálculos de rendimiento de biogás, porcentaje de sólidos totales y porcentaje de sólidos volátiles en las heces. Calcular la cantidad de biogás producido. El peso seco de la materia prima o el desecho que queda después del secado a 105 °C se conoce como ST, mientras que la fracción de SV se evapora a 550 °C.

$$\frac{\text{Volumen de gas m}^3 \text{ CH}_4}{\text{kg de desecho}} = \left(\frac{\% \text{ ST}}{100}\right) \left(\frac{\% \text{ SV}}{100}\right) \left(\frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{kg}}\right) (\% \text{ CH}_4)$$

Es crucial conocer la magnitud de gas en m<sup>3</sup> por kg, la proporción de metano (% CH<sub>4</sub>) en el biogás, el porcentaje de sólidos totales y volátiles y la magnitud de gas en cada tipo de desecho. Las tablas 4 y 5 muestran estos datos de acuerdo con las fuentes bibliográficas. (Olaya, 2009).

**Tabla 6**

Valores de porcentajes de sólidos volátiles. (Olaya, 2009).

Material (residuos secos)	% Humedad (H)	% Sólidos totales (% ST)	% Nitrógeno (N)	% Carbono (C)	% Sólidos volátiles (% SV)	C/N
Orina.	94	6	18	14	75	0.8
Papel periódico.	7	93	0.1	5	97.1	813
Desechos agrícolas.	7.2	37	1.2	90	63	75
Humanaza.	73	27	6	50	92	8
Bovinaza.	86	14	1.7	30.8	80	18
Basura del mercado.	1	99	3	54.7	77	18
Gallinaza.	65	35	6.3	94.5	65	15
Porquinaza.	87	13	3.8	76	85	20



**Tabla 7**

Los sólidos volátiles influyen en la cantidad de biogás producido. (Olaya, 2009).

Material	Proporción (%)	m <sup>3</sup> de biogás/ kg de materia	CH <sub>4</sub> (%)
Desechos agrícolas.	100	0.2999	60
Basura de cocina.	100	0.2110	61.9
Gallinaza.	100	0.3111	59.8
Residuos de papel.	100	0.2178	67.1
Porquinaza.	100	0.3234	65
Bovinaza.	100	0.0871	65.2

La Tabla 7, muestra la cantidad de basura orgánica diaria en la plaza de mercado del Municipio de Sogamoso. Este cálculo se basó en los datos proporcionados por la empresa Coservicios SA ESP entre 2015 y 2020, así como en la generación de desechos mensual en 2020 y semanal en 2021. para ejecutar el proceso de alimentación o cargue para cada uno de los reactores en proporción 1:1. Según Osorio, 2017, el cálculo de cada tanque o reactor se realiza utilizando la ecuación siguiente.

$$T_{rsd} + H_2O = COD \quad (12)$$

Dónde:

$T_{rsd}$  : Total de residuos residenciales diarios (kg).

H<sub>2</sub>O: Agua requerida para la mezcla (kg).

COD : Carga orgánica diaria (kg).

Esta ecuación se modificó según Osorio, 2017, para el sustrato a trabajar y se expresó en kilogramos de desechos orgánicos.

Dónde:

Un kilogramo es el peso de "un litro de agua pura". Hay 1000 litros de agua en un recipiente de 1 metro de lado (1 m<sup>3</sup>). Como resultado, podemos considerar que un kilogramo es la masa de la milésima parte de un litro de agua (Medina, 2021)

**Carga orgánica en el tiempo ideal de retención (m<sup>3</sup>).**

$$\text{COD} \times T_R = \text{CO} \left( \frac{\text{kg}}{1000} \right) \text{ en m}^3 \quad (13)$$

Dónde:

COD : Carga orgánica diaria (kg).

$T_R$ : Tiempo de retención (días).

CO : Carga orgánica (m<sup>3</sup>).

**Sólidos volátiles (SV), por Kg de sólidos orgánicos diarios (kg).**

$$T_{\text{rsd}} (63 \%) = \text{SV} \quad (14)$$

**Producción de CH<sub>4</sub> (metano), basura o desechos de cocina.**

- Según Olaya, 2009 = 61.9 %

**Sólidos volátiles en tiempo de retención ideal (  $SV_{\text{tiempo de retención}}$  ) en kg.**

$$SV T_R = SV_{\text{tiempo de retención ideal}} \quad (15)$$

**Producción de biogás m<sup>3</sup> por kg de sólido Volátil (desechos de cocina):**

- Según Olaya, 2009 = 0.211 m<sup>3</sup> con una porción del 100 %.

**Producción de CH<sub>4</sub> (metano) m<sup>3</sup> por kg de sólido volátil en tiempo de retención ideal.**

$$SV_{\text{tiempo de retención}} (0.211) (61.9) = \text{Producción de CH}_4 \text{ (metano) m}^3 \quad (16)$$

**Tabla 8**

Consumo de Biogás en la cocina (Acosta y Abreu, 2005).

COCINA	Quemador de 2".	$0.32 \frac{m^3}{h}$
	Por Persona / día.	$0.33 \frac{m^3}{día}$
	2 quemadores inyector 2".	$0.5 \frac{m^3}{h}$

En su tesis, que se llevó a cabo en el salón comunal del conjunto, emplearon una estufa de 6 hornillas redondas de 2" con un consumo de  $0.32 \text{ m}^3/\text{h}$  por quemador. La estufa se podría mantener encendida en su totalidad durante 175.19 horas.

$$CGE = \frac{0.32 \text{ m}^3}{h} (n) \quad (17)$$

Dónde:

CGE : Consumo de gas de la estufa por hora.

$h$  : Hora (h).

$n$  : Número de quemadores de la estufa.

$$HCE = \frac{\text{Producción de CH}_4 \text{ (m}^3\text{)}}{CGE \left(\frac{\text{m}^3}{h}\right)} \quad (18)$$

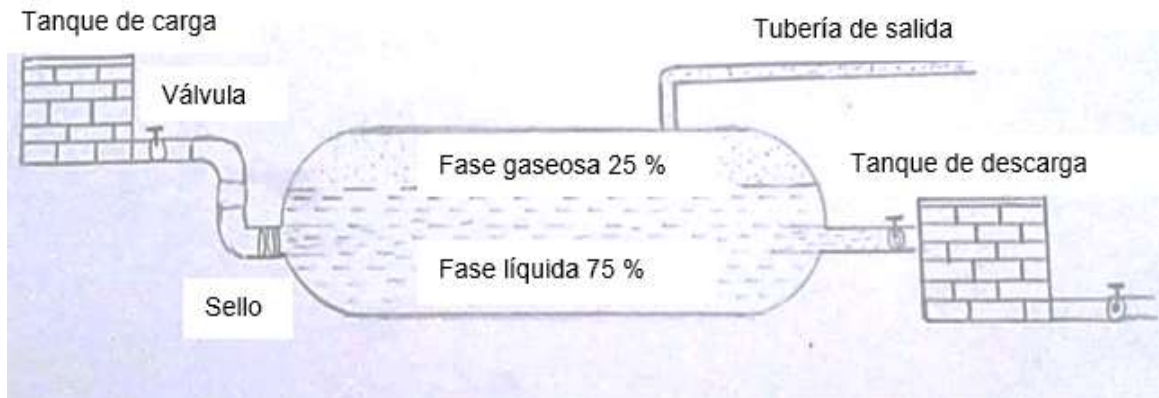
Dónde:

HCE : Horas de consumo de la estufa.

## 2.5. Cálculos del Diseño.

### Dimensionamiento de un Biodigestor.

Hay que tomar en cuenta que se ha hablado en litros para los volúmenes, es decir 1000 litros, equivalen a un metro cubico (1000 litros = 1 m<sup>3</sup>). (Martí, 2008)



**FIGURA 6:** Esquema general de un biodigestor tubular. (Guzmán y Criollo, 2014).

### Perímetro de un círculo (P).

$$P = 2 \pi r \quad (19)$$

Dónde:

P : Perímetro de un círculo (m).

$\pi = 3.1416$ .

r : Radio (m).

### **Diámetro (D).**

$$D = \frac{p}{\pi} \quad (20)$$

Dónde:

$D$  : Diámetro (m).

$p$ : Perímetro (m).

$\pi = 3.1416$ .

### **Longitud (L).**

$$L = \frac{4 V_{Td}}{\pi D^2}$$

$$L = \frac{V_{Td}}{\pi r^2} \quad (21)$$

Dónde:

$L$  : Longitud (m).

$V_{Td}$  : Volumen total del biodigestor (m<sup>3</sup>)

$\pi = 3.1416$ .

$r$  : Radio (m).

$D$  : Diámetro (m).

**Volumen del Cilindro ( $V_c$ ).**

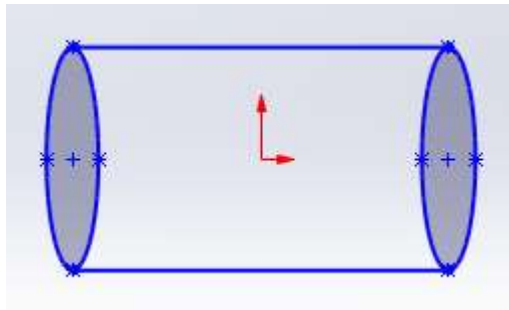
$$V_c = \pi r^2 h \quad (22)$$

Dónde:

$V_c$  : Volumen del Cilindro ( $m^3$ ).

$r$  : Radio (m).

$h$  : Altura (m).

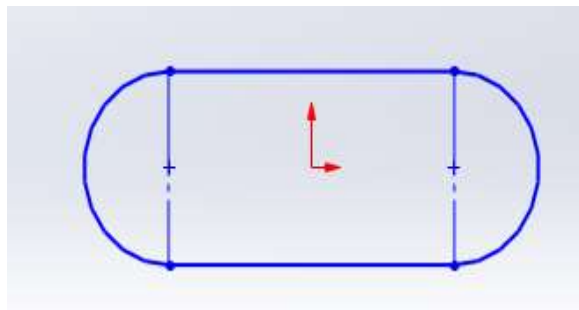


**Volumen esfera ( $V_e$ ).**

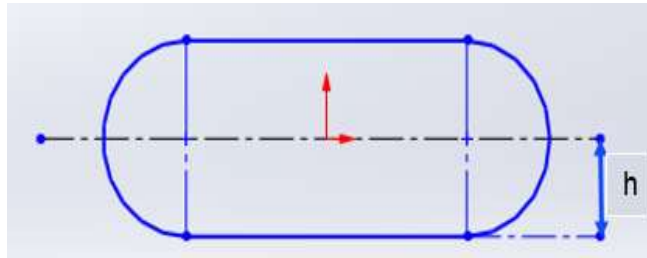
$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (23)$$

**Media esfera ( $V_{em}$ ).**

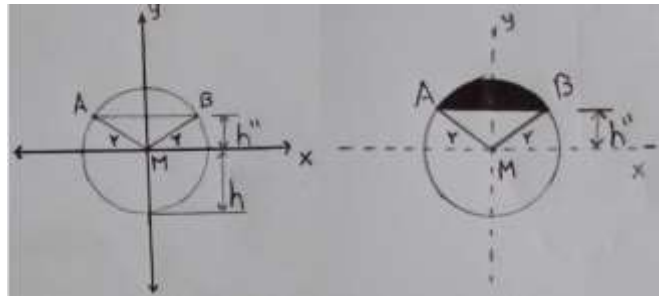
$$V_{em} = \frac{2}{3} \pi r^3 \quad (24)$$



$$2 (V_{em}) + V_c \quad (25)$$



$$V_{mezcla} = \frac{3}{5} V_c \quad (26)$$



$$V_{vacío} = A \text{ (segmento) } B (h) \quad (27)$$

Dónde:

$V_{vacío}$  : Igual al volumen que ocupa el biogás en el tanque ( $m^3$ ).

$A \text{ (segmento) } B$ : Área de un segmento circular ( $m^2$ ).

$h$  : Altura (m)

$$A \text{ (segmento) } B = \frac{r^2}{2} \left( \frac{\theta \pi}{180^\circ} - \sin \theta \right) \quad (28)$$

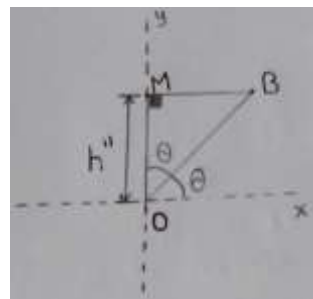
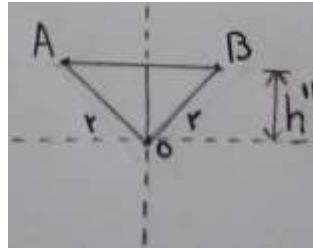
Dónde:

$A \text{ (segmento) } B$ : Área de un segmento circular ( $m^2$ ).

$r$  : Radio (m).

$\pi$  : 3.1416.

$\theta$ : Angulo theta ( $^{\circ}$ ).



$$h'' = r (\cos \theta) \quad (29)$$

$$h = r + h'' \quad (30)$$

Dónde:

$h''$  : h prima (m).

$r$  : Radio (m).

$\theta$  : Angulo theta ( $^{\circ}$ ).

**Presión manométrica ( $P_g$ ).**

$$P_g = h \rho g \quad (31)$$



Dónde:

$h$  : Altura del fluido (m).

$\rho$  : Densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ ).

$g$  : Gravedad  $9.8$  ( $\text{m/s}^2$ ).

**Presión Absoluta ( $P_{ab}$ ).**

$$P_{ab} = P_{atm} + P_g \quad (32)$$

Dónde:

$P_{ab}$  : Presión Absoluta (Pa).

$P_{atm}$  : Presión atmosférica (101325 Pa).

$P_g$  : Presión manométrica (Pa).

**Densidad del metano ( $\rho_{CH_4}$ ).**

La masa de la sustancia sobre el peso molecular debe ser igual al número de moles de gas, según la fórmula de la densidad de la mezcla de gases ideales, utilizando la ley de los gases perfectos, lo que da como resultado lo siguiente (Delgado, 2013).

$$P V = n R T$$

$$P V = \frac{m}{P_M} R T$$

$$P P_M = \frac{m}{V} R T$$

$$P P_M = \rho R T$$

$$\rho_{CH_4} = \frac{P P_M}{R T} \quad (33)$$

Dónde:

$P$  : Presión absoluta (Pa).

$V$  : Volumen ( $m^3$ ).

$n$  : Moles de gas.

$m$ : Masa de la sustancia.

$R$  : Constante universal de los gases ideales.

$T$  : Temperatura absoluta (K).

$P_M$  : Peso molecular.

$\rho_{CH_4}$  : Densidad del metano.

Demanda del gas natural (biogás) para energía eléctrica.

El tipo de sustrato empleado y digerido durante el proceso desempeña un papel importante en la composición del biogás, que es un gas inflamable con una excelsa capacidad calorífica de  $5.20 \text{ kcal/m}^3$ . (Fandiño, 2018).

Se cree que la cantidad media de metano en el biogás obtenido a partir de residuos orgánicos es del 65 %. Según su capacidad calorífica,  $1 \text{ m}^3$  de biogás equivale a unos 6 kWh de electricidad. (Freitas et al., 2019)

El parámetro varía según las centrales eléctricas. Se espera que los valores de en las centrales con grandes sistemas de turbinas sean del 35 % al 42 % y del 25 % en las centrales con pequeños generadores, respectivamente. (Ferreira et al., 2019).

Según su tesis se consideró del motor generador 37 %. (Fandiño, 2018).

$$V_{\text{bg-necesario}} = \frac{\text{Consumo diario } \frac{\text{kWh}}{\text{día}}}{6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} (65 \%)(n)} \quad (34)$$

**Tabla 9**

Resultados de demanda de energía eléctrica diaria de una vivienda del centro  
Poblado Las Torres – Laredo.

Nº	Descripción / Equipo	Unidad	Potencia (W)	Potencia total (W)	Tiempo (horas/diarias)	Consumo diario (kWh/día)
<b>1</b>	<b>Alumbrado interior</b>					
1.1	bobina led (luz blanca)	10	15	150	6	0.9
<b>2</b>	<b>Equipos electrónicos</b>					
2.1	Televisión	2	150	300	3	0.9
2.2	Computadora	1	200	200	2	0.4
2.3	Celular	3	10	30	4	0.12
2.4	Plancha	1	1000	1000	1	1
2.5	Licuadaora	1	350	350	1	0.35
2.6	Estéreo	1	75	75	2	0.15
2.7	Radio	1	15	15	3	0.045
2.8	DVD	1	20	20	3	0.06
		<b>Total</b>		<b>2140</b>		<b>3.925</b>

Nota: Elaboración propia.

## Dimensionamiento del sistema de generación de electricidad.

$$PTE = V_{bn} PCI \quad (35)$$

Dónde:

*PTE* : Producción Teórico de Electricidad (kWh/día).

*V<sub>bn</sub>* : Biogás Necesario (m<sup>3</sup>/día).

*PCI* : Poder Calorífico Inferior del biogás igual de 6 kWh/m<sup>3</sup>.

El PCI del biogás está inversamente relacionado con el contenido de dióxido de carbono; cuanto mayor es la concentración de dióxido de carbono, menor es el valor calorífico. El contenido de metano del biogás está directamente relacionado con el PCI del biogás. Por lo tanto, el proceso de producción de biogás debe estar en un entorno que fomente una mayor producción de metano y una menor producción de CO<sub>2</sub> para maximizar su PCI. Al calcular la Producción Real de Electricidad (PRE), se tiene en cuenta la eficiencia total de conversión (n) de las máquinas térmicas, como grupos electrógenos, micro turbinas de gas, etc. (Freitas et al., 2019).

$$PRE = \frac{PTE (n)}{100} \quad (36)$$

$$PE = \frac{PRE}{(HO)(\cos \emptyset)} \quad (37)$$

Dónde:

PE: Potencia Eléctrica de la planta de generación (kVA).

HO: Trabajo del grupo electrógeno (número de horas).

cos  $\emptyset$  : Factor de potencia de 0.8 a 1.

CARACTERÍSTICAS DE UN GRUPO ELECTRÓGENO DE GAS METANO PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.

**Tabla 10**

Características de un grupo electrógeno.

<b>Modelo PUXIN</b>	<b>1.5 kW</b>	<b>3 kW</b>	<b>5 kW</b>
Potencia nominal.	1500 W	3000 W	4500 W
Max.	1800 W	3500 W	5000 W
Aceite de motor de capacidad.	Añadir 0.6 L antes de usar	Añadir 1.1 L antes de usar	Añadir 1.1 L antes de usar
El consumo de Gas.	1.05 m <sup>3</sup> /h	2.1 m <sup>3</sup> /h	0.7 m <sup>3</sup> /h
Salida DC.	12 V 8.3 A	12 V 8.3 A	/
Ruido (distancia de 7 m).	60 dB	60 dB	70 dB
Adecuado de gas.	Biogás / metano		
Tipo de generador.	Bruss, generador de cobre, cilindro único, 4 tiempos, refrigerado por aire.		
Seguir el tiempo de trabajo.	5 horas y descanso al menos 30 minutos		
El biogás.	No menos del 65 % de metano (CH <sub>4</sub> )		
Presión de Gas.	2 kPa – 6 kPa		
Voltaje.	110 V / 220 V (380 V personalizar)		
Frecuencia.	50 Hz / 60 Hz		
Método de arranque.	Arranque eléctrico		

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación.

##### 3.1.1. Tipo de investigación.

El proyecto de investigación es de tipo cuantitativo ya que permitirá resolver de manera práctica algunos problemas relacionados a las excretas de los animales que padecen las familias del centro poblado Las Torres – Laredo.

- a) Finalidad → Básica.
- b) Alcance → Descriptiva.
- c) Diseño → No Experimental.
- d) Fuente → Campo.
- e) Enfoque → Cuantitativa.

##### 3.1.2. Diseño de investigación.

El diseño de la investigación no es experimental, ya que se manipularán intencionalmente las variables estudiadas y la investigación correlacional. El objetivo de la investigación es determinar la intensidad y el significado de la relación entre las dos variables, analizando cómo afectan una a la otra en el proceso de investigación.

#### 3.2. Variables y operacionalización.

De este proyecto de investigación establecimos, las siguientes variables de investigación:

**Tabla 11**

Variables e indicadores.

	Variables	Indicadores
Dependiente	Energía eléctrica para viviendas que cuentan sin suministro de electricidad en el centro poblado Las Torres – Laredo. Gas metano (Biogás).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia eléctrica (kW).</li> <li>• Energía eléctrica (kWh/día).</li> <li>• CH<sub>4</sub> (m<sup>3</sup>).</li> </ul>
Independiente	Diseño de un biodigestor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Masa estiércol de ganado vacuno (kg/día).</li> <li>• Volumen biodigestor (m<sup>3</sup>).</li> <li>• Producción de biogás (m<sup>3</sup>/día).</li> <li>• Temperatura Ambiente, T (°C).</li> <li>• Densidad de gas, <math>P_{gas}</math> (g/l).</li> <li>• Producción de energía eléctrica (kWh/día).</li> </ul>

Nota: Elaboración propia.

### 3.3. Población, muestra y muestreo.

#### 3.3.1. Población.

Los biodigestores en la Libertad.

#### 3.3.2. Muestra.

La muestra para esta investigación serán algunas viviendas donde están sin suministro de electricidad y las familias nucleares de las Torres del distrito de Laredo.

#### 3.3.3. Muestreo.

No Probabilístico – Intencionado.

#### 3.3.4. Unidad de análisis.

La unidad de análisis es el biodigestor para familias del centro poblado Las Torres.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

**Tabla 12**

Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

<b>Técnica de recolección de datos</b>	<b>Instrumento de recolección de datos</b>	<b>Validación</b>
Encuesta	Cuestionario	Por Expertos
Observación	Guía de observación de campo	Por Expertos
Análisis Documental	Ficha de registros de datos	Por Especialistas

Nota: Elaboración propia.

### 3.5. Procedimientos.

Los procedimientos necesarios para realizar la presente investigación son los siguientes:

- Consentimiento informado, solicitar permiso a las personas de la población.
- Recolectar datos en la zona de estudio.
- Se procesa los datos usando un estadístico adecuado según los trabajos previos.

### 3.6. Método de análisis de datos.

El procesamiento y análisis de datos se realizarán mediante Excel.

### 3.7. Aspectos Éticos.

El presente proyecto de investigación toma en cuenta los estándares que definen el estilo 690 y 690 – 2 del “Manual de referencias de la Universidad César Vallejo”, los que son considerados y respeta las normas éticas que se establecen para el desarrollo de los trabajos de investigación de la Universidad.



## IV. RESULTADOS.

### 4.1. PROCEDIMIENTO:

#### a) Localización geográfica del área de estudio.

El estudio se llevará a cabo en el pueblo de Las Torres, que está dentro del distrito de Laredo. Se encuentra en el Valle de Santa Catalina, a la derecha e izquierda del río Moche y al este de la ciudad de Trujillo - La libertad. De Este a Oeste por el distrito. Según la ley de ampliación de límites N° 25253, modificada el 20 de junio de 1990. Los distritos que limitan a Laredo son los siguientes:

- La región del noroeste y del norte incluye los municipios de Huanchaco y Simbal.
- Este incluye los municipios de Simbal y Poroto.
- El área sureste y sur comprende los distritos de Poroto, la provincia de Virú y Salaverry.
- Los distritos del sur-oeste y del oeste incluyen Moche, Trujillo y El Porvenir.

El distrito de Laredo tiene una altitud de 89 m.s.n.m. y una superficie estimada de 335.44 kilómetros. Está dividido en dos zonas: la urbana, liderada por la ciudad de Laredo, que es la capital del área, y la rural, conformada por los centros poblados como: La Merced, Barraza, Santo Domingo, Galindo, Las Torres, Alto Laredo, San Carlos, Cerro Blanco, Quirihuac, Bello Horizonte, Santa Rosa, Las Cocas, Jesús María, Menocucho y Conache.

#### Clima.

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Metropolitano de Trujillo (P.E. PLANDEMETRU 2000), Laredo cuenta con un clima semicálido, con estaciones claras y pocas lluvias al año. La temperatura promedio anual es de 20 °C, mientras que en invierno es de 11 °C y en verano es de 30 °C.

### Ubicación.

Se encuentra en el distrito del mismo nombre en la provincia de Trujillo, en el departamento de La Libertad. Se encuentra geográficamente al Sur-Este de la provincia de Trujillo, en la margen derecha del río Moche, en el Valle de Santa Catalina. Se encuentra en aproximadamente 15 minutos desde la ciudad de Trujillo, dependiendo del medio de transporte utilizado.

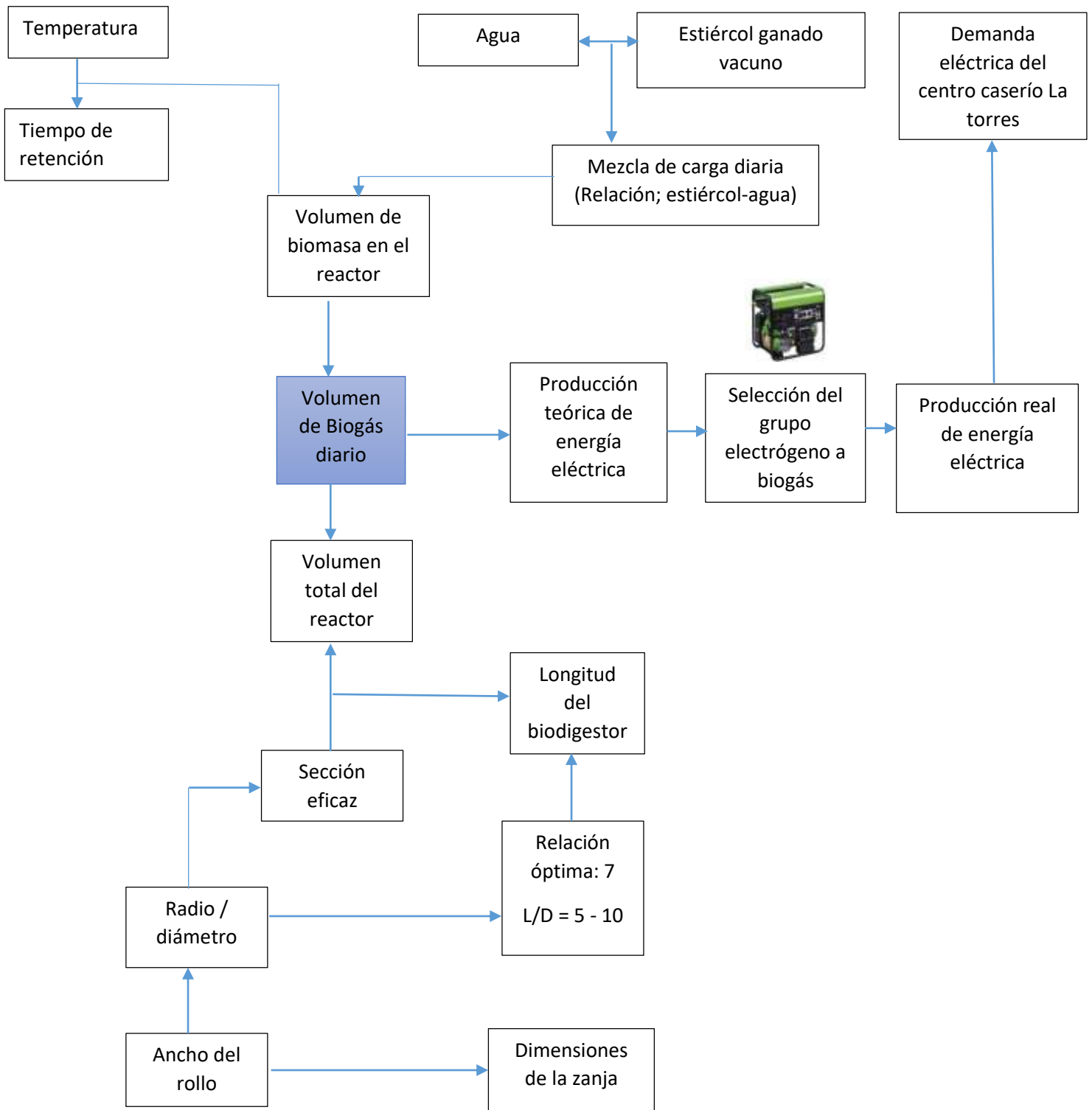


**FIGURA 7:** Ubicación de la zona de estudio, caserío Las Torres – Laredo.

Nota: Elaboración propia.

b) Procedimiento de cálculo, a partir de estiércol de ganado vacuno.

Se creó el procedimiento de cálculo para dimensionar el sistema de biogás para generar electricidad y proporcionar energía eléctrica en una vivienda en la zona de Las Torres - Laredo, y se ajustó a los objetivos.



Nota: Elaboración propia.

### Análisis de datos.

Se crearon tablas utilizando Microsoft Excel para este proyecto académico de investigación. Según los resultados de la investigación, se creó la interpretación. Para llegar a conclusiones y sugerencias, este proceso implica hacer inferencias sobre las relaciones entre las variables estudiadas.

### Consideraciones éticas.

La tesis no ha sido plagiada y se han cumplido con las normas internacionales de citas y referencias.

### Resultados consumo eléctrico de una vivienda en el asentado las Torres-Laredo.

La vivienda ubicada en el centro poblado las Torres-Laredo, cuenta con 4 habitaciones, 1 baño, 1 patio, 1 cocina, 1 sala, 1 pasadizo, en donde esas áreas están iluminadas, donde se tomó en cuenta determinar las cargas eléctricas por iluminación, asimismo las cargas eléctricas que poseen los equipos electrónicos, en donde se muestra en la Tabla 9, en donde se muestran la potencia de cada equipo, las horas de funcionamiento, y el consumo diario.

**Tabla 9:** Resultados de demanda de energía eléctrica diaria de una vivienda en el asentado las Torres-Laredo.

Nº	Descripción / Equipo	Unidad	Potencia (W)	Potencia total (W)	Tiempo (horas/diarias)	Consumo diario (kWh/día)
<b>1</b>	<b>Alumbrado interior</b>					
1.1	Bobina led (luz blanca)	10	15	150	6	0.9
<b>2</b>	<b>Equipos electrónicos</b>					
2.1	Televisión	2	150	300	3	0.9
2.2	Computadora	1	200	200	2	0.4

2.3	Celular	3	10	30	4	0.12
2.4	Plancha	1	1000	1000	1	1
2.5	Licuada	1	350	350	1	0.35
2.6	Estéreo	1	75	75	2	0.15
2.7	Radio	1	15	15	3	0.045
2.8	DVD	1	20	20	3	0.06
		<b>Total</b>		<b>2140</b>		<b>3.925</b>

Nota: Elaboración propia.

La tabla muestra el consumo diario de cada artefacto eléctrico en la vivienda del asentamiento Las Torres, tomando en cuenta el consumo constante de energía eléctrica durante todo el año. Sin embargo, es razonable suponer que hay picos más altos de consumo a lo largo del día cuando se realizan varias tareas al mismo tiempo. Para el estudio, se consideró que el factor de simultaneidad era igual a 1.

El consumo diario de energía se calcula después de cargar la vivienda. Aunque se consideró que el consumo de energía es constante durante todo el año, se puede inferir que cuando se realizan varias actividades al mismo tiempo, los picos de consumo serán más notables durante el día. La investigación tomó en cuenta un factor de simultaneidad de 1.

### Resultados de la cantidad de excretas de ganado vacuno.

Según el autor Fandiño, en su investigación en el año 2018, nos muestra en la tabla 13, las cantidades que genera un animal al día de biogás, y relación de excretas agua.

**Tabla 13**

Cantidades que genera un animal al día de biogás, y relación de excretas agua.

Especie de animal	Cantidad de excreta diaria (kg)	Rendimiento biogás (m <sup>3</sup> /kg)	Producción de biogás (m <sup>3</sup> /día)	Relación excreta: agua
<b>Vacuno</b>				
Grande	15	0.04	0.6	1:1
Pequeños	8		0.32	
Terneros	4		0.16	
<b>Ovino</b>				
Grande	5	0.05	0.25	1:2 a 1:3
Pequeño	1.5		5	
<b>Avícola</b>				
Grande	0.15	0.06	0.009	1:3
Pequeño	0.05		0.003	
<b>Porcino</b>				
Grande	2	0.07	0.14	1:1 a 1:3
Pequeño	1		0.7	

En la selección de la materia orgánica, se consideró como dato según la tabla que un vacuno adulto genera 15 kg de excreta a diario. En el asentamiento las Torres - Laredo, considerado una zona rural en el distrito, cuenta con 8 vacas adultas.

Para hallar la cantidad de sustrato en kg, se aplicó la ecuación (2).

$$S = C_{EX-u} N_a$$

Dónde:

$S$  : Cantidad de sustrato (kg).

$C_{EX-u}$  : Porción de excremento por animal al día (kg).

$N_a$  : Cifra de animales rumiantes.

$$S = (15)(8) = 120 \text{ kg}$$

### Resultados de carga diaria de la biomasa disponible.

De acuerdo a la materia orgánica (estiércol) y el agua están presentes de forma natural en los excrementos de las vacas. La relación entre la cantidad de sustrato (S) y agua ( $H_2O$ ), suponiendo una relación 1:1, porciones iguales, determina la cantidad de mezcla que entra en el tanque hermético. (García y Ponce, 2020). Aplicaremos la ecuación (3), en donde la carga diaria de la biomasa disponible es de 240 kg/día.

$$C_d = S + H_2O$$

Dónde:

$C_d$  : Carga diaria de la biomasa (kg).

S: Cantidad de sustrato disponible (kg).

$H_2O$  : Cantidad de agua (l).

$$C_d = 120 \text{ kg} + 120 \text{ kg de } H_2O$$

$$C_d = 240 \text{ kg/día}$$

### Resultados del volumen de la biomasa en el digestor.

Usaremos la ecuación (5), que multiplica el volumen de biomasa disponible por el tiempo de retención en días, para encontrarlo. El tiempo de retención se refiere al tiempo que la mezcla (agua y estiércol) ingresa al biodigestor y permanece dentro, donde se desarrollan el bacilo anaerobico que daña la materia orgánica y producen biogás. Este tiempo variará según la temperatura del área donde se instala el biodigestor. (Tapia, 2016)

$$V_{bm-bg} = V_{bm-disp} \cdot T_R$$

Dónde:

$V_{bm-bg}$  : Volumen de la biomasa en el digestor ( $m^3$ ).

$V_{bm-disp}$ : Volumen de la biomasa disponible ( $m^3$ ).

$T_R$ : Tiempo de retención en el biodigestor (días).

**Tabla 14**

Zona, Temperatura y tiempo de Retención, tomado de Jaime Martí-Herrero, 2015.

Zona	Temperatura (°C)	Tiempo Retención (días)
Selva	30	20
Sierra	10	60
Costa	20	30

Para el tiempo de retención se ha considerado como zona la costa en donde según la tabla 14, nos muestra que, en la Costa a una temperatura de 20 °C, con un tiempo retención de 30 días, como resultado el volumen de la biomasa en el digestor es de 7.2 m<sup>3</sup>/día.

$$V_{\text{bm-bg}} = 0.24 \text{ (30 dias)}$$

$$V_{\text{bm-bg}} = 7.2 \frac{\text{m}^3}{\text{días}}$$

**Tabla 15**

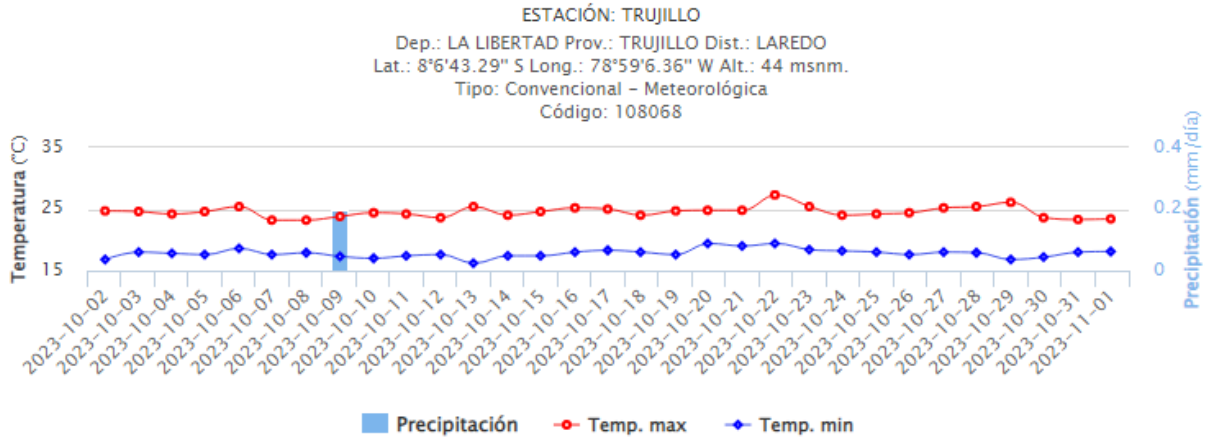
Temperaturas del mes de octubre según SENAMHI-Perú, 2023.

Día / mes / año	Temperatura (°C)		Humedad relativa (%)
	Max.	Min.	
01/10/2023	27	16.8	78.8
02/10/2023	24.7	16.8	82.4
03/10/2023	24.6	18	80.2
04/10/2023	24.2	17.8	82.4
05/10/2023	24.6	17.6	83.9
06/10/2023	25.4	18.6	77.7
07/10/2023	23.2	17.6	81.4



08/10/2023	23.2	17.9	81.1
09/10/2023	23.8	17.3	82.3
10/10/2023	24.4	17	84.3
11/10/2023	24.2	17.4	79.3
12/10/2023	23.6	17.6	81.5
13/10/2023	25.4	16.2	85.3
14/10/2023	24	17.4	79.6
15/10/2023	24.6	17.4	78.5
16/10/2023	25.2	18	80.5
17/10/2023	25	18.3	79.8
18/10/2023	24	18	80.6
19/10/2023	24.7	17.6	82.6
20/10/2023	24.8	19.4	83.4
21/10/2023	24.8	19	82.2
22/10/2023	27.3	19.4	77.4
23/10/2023	25.4	18.4	79.8
24/10/2023	24	18.2	83.2
25/10/2023	24.2	18	80.5
26/10/2023	24.4	17.6	88.9
27/10/2023	25.2	18	78.6
28/10/2023	25.4	17.9	80.9
29/10/2023	26.1	16.8	81.7
30/10/2023	23.6	17.2	84.2
31/10/2023	23.3	18	85.6

Nota: Datos tomados de SENAMHI-Perú, 2023.



**FIGURA 8:** Comportamiento de la temperatura durante el año 2023.

La gráfica nos muestra que en el mes de Octubre, según SENAMHI-Perú, la temperatura máxima fue de 27 °C y la mínima temperatura fue de 16 °C.

Resultado de volumen de la biomasa disponible.

El excremento de vaca o toro está compuesto por un 16 % de materia orgánica seca y un 84 % de agua, lo que lo hace ideal para que el digestor tenga una relación 1:1. Podemos inferir que la densidad de la mezcla es casi idéntica a la del agua porque contiene un 92 % de agua y un 8 % de materia orgánica seca. Por lo tanto, dada la densidad del estiércol bovino (1000 kg/m<sup>3</sup>), podemos calcular el volumen de biomasa disponible utilizando la ecuación (6). Según Fandiño (2018). En este caso, aplicaremos la ecuación (6), lo que resultará en una cantidad de biomasa disponible de 0.24 m<sup>3</sup>/día.

$$V_{bm-disp.} = \frac{C_d}{\rho_{agua}}$$

Dónde:

$V_{bm-disp.}$  : Volumen de la biomasa disponible (m<sup>3</sup>).

$C_d$  : Carga diaria de la biomasa (kg).

$\rho_{agua}$  : Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>)

$$V_{bm-disp.} = \frac{240 \frac{kg}{dia}}{1000 \frac{kg}{m^3}}$$

$$V_{bm-disp.} = 0.24 \frac{m^3}{dia}$$

### Resultados del Volumen del biogás.

Según el autor Fandiño, en su investigación en el año 2018, nos muestra en la tabla 13, que el rendimiento de biogás es de 0.04 m<sup>3</sup>/kg. El volumen de biogás que produce la cantidad de materia que se tiene durante el período de almacenamiento (Fandiño, 2018). Con la siguiente ecuación (7), el resultado del volumen de biogás es de 9.6 m<sup>3</sup>, que se va a generar dentro del biodigestor.

$$V_g = C_d (\lambda)$$

Dónde:

$V_g$  : Volumen del biogás (m<sup>3</sup>).

$C_d$ : Carga diaria de la biomasa (kg).

$\lambda$ : Rendimiento biogás (m<sup>3</sup>/kg)

$$V_g = 240 (0.04)$$

$$V_g = 9.6 m^3$$

### Resultados del Volumen total del biodigestor.

El volumen total del biodigestor se dividirá en una parte líquida y otra gaseosa, ocupando la parte líquida el 75 % del espacio y la parte gaseosa el 25 % restante.

La porción gaseosa actuará como campana o gasómetro para el metano creado durante la desintegración. (Martí, 2008). En donde se aplica la ecuación (8), dando una total del volumen del biodigestor de 16.8 m<sup>3</sup>.

$$V_{Td} = V_{bm-bg} + V_g$$

Dónde:

$V_{Td}$  : Volumen total del biodigestor (m<sup>3</sup>).

$V_{bm-bg}$ : Volumen de la biomasa en el digestor (m<sup>3</sup>).

$V_g$  : Volumen del biogás producido (m<sup>3</sup>).

$$V_{Td} = 7.2 + 9.6$$

$$V_{Td} = 16.8 \text{ m}^3$$

### Resultados Densidad de la mezcla.

Para hallar la densidad de la mezcla (agua y estiércol), se usa la ecuación (9), en donde la masa se considera la carga diaria de la biomasa, asimismo el volumen total del biodigestor.

$$\rho_m = \frac{m}{V_{Td}}$$

Dónde:

$\rho_m$ : Densidad de la mezcla (kg/m<sup>3</sup>).

$m$  : Masa (kg).

$V_{Td}$  : Volumen total del biodigestor (m<sup>3</sup>).

$$\rho_m = \frac{240 \text{ kg}}{16.8 \text{ m}^3}$$

$$\rho_m = 14.29 \text{ kg/m}^3$$

Se calculó una densidad de la mezcla de agua más la excreta de ganado vacuno es de 14.29 kg/m<sup>3</sup>

#### Resultados para un biodigestor con residuos residenciales.

Se calculó en el centro poblado las torres – Laredo, un restaurante en donde hacen menú que cada semana de lunes a domingo acumula 53 kg de residuos orgánicos de cocina. Así mismo, se tomó en cuenta el domicilio de 12 familias, según su apellido que recolecta residuos sólidos orgánicos por cada día en la cocina, un total de 72 kg/día.

**Tabla 16**

Cantidad de residuos orgánico (R.O.) en restaurante.

DÍAS	Peso de R.O (kg)
Lunes	9
Martes	5
Miércoles	6
Jueves	5
Viernes	6
Sábado	10
Domingo	12
<b>Total</b>	<b>53 kg</b>

Nota: Elaboración propia.

**Tabla 17**

Familias las Torres.

Unidad Residencial	Apellido de familias	(RSO) Residuos Sólidos Orgánico (kg/día)
1	Rubio	5
2	Castillo	4
3	Hernández	5
4	Chávez	7
5	Córdova	6
6	Alayo	8
7	Soto	9
8	Díaz	2
9	Ventura	5
10	Zavaleta	6
11	Sánchez	7
12	Saldaña	8
<b>TOTAL</b>		<b>72</b>

Nota: Elaboración propia.

En su proyecto de investigación, Olaya dice que el 16 % de genitio diaria de desechos sólidos equivale a 0.16 de la masa total de desechos sólidos, mientras que el 8 % equivale a 0.08 del solido total, que se define como la suma de los desechos sólidos diarios y la mezcla de agua. Se utilizará materia orgánica como desechos residenciales de cocina en una proporción de uno en uno, con uno de desechos y otro de agua.

Aplicaremos la ecuación (10), a continuación:

Residuos sólidos diarios (RSD): 72 kg + 53 kg = 125 kg

$$T_{rs} = 0.16 ( T_{rsd} )$$

Dónde:

$T_{rs}$  : Total aprovechamiento residuos sólidos (kg).

$T_{rsd}$  : Total de residuos residenciales diarios (kg).

$$Trs = 0.16 \times 125 \text{ kg}$$

$$Trs = 20 \text{ kg}$$

Para hallar la masa del agua requerida para la mezcla, usaremos la ecuación (11).

$$\frac{T_{rs}}{(T_{rsd} + m_{H_2O})} = \frac{8}{100}$$

Dónde:

$T_{rs}$  : Total aprovechamiento residuos sólidos (kg).

$T_{rsd}$  : Total de residuos residenciales diarios (kg).

$m_{H_2O}$  : Masa del agua requerida para la mezcla (kg/día).

$$\frac{20 \text{ kg}}{(125 \frac{\text{kg}}{\text{día}} + m_{H_2O})} = 0.08$$

$$m_{H_2O} = 125 \text{ kg}$$

La relación de 125 kg de residuos orgánicos y de 125 kg de agua (1:1)

Dado que la alimentación de materia orgánica es constante (diariamente), el proceso de digestión se llevará a cabo con fermentación semicontinua. Se introducen materia orgánica como desechos vegetales y frutales en una proporción de uno en uno, uno en uno de desechos y uno en uno de agua. Para Olaya (2009), la mezcla de agua calculada para el diseño de un biodigestor se basa en un 8 % del sólido total y un 16 % de la masa diaria de desechos sólidos. El sólido total es la suma de los residuos sólidos y la mezcla de agua diarios. Según Osorio (2017), el cálculo de cada tanque o reactor se realiza utilizando la ecuación siguiente (12).

$$T_{rsd} + H_2O = COD$$

Resultado de fórmula de carga orgánica diaria (COD) en kg.

$$125 \text{ kg} + 125 \text{ kg} = 250 \text{ kg}$$

De esta manera, se crea un entorno biológico activo donde los microorganismos producen biogás (gas metano) y líquidos lixiviados (Biol), que pueden ser utilizados como fertilizantes. El calor en el interior del contenedor produce gases y las bacterias metalogénicas se activan cuando se mezclan los desechos con el agua. El biogás se puede utilizar entre 15 y 40 días, dependiendo del clima. Según Olaya (2009), con una temperatura de 20 a 30 grados sin sombra, se puede lograr un tiempo de retención de 20 con un factor de corrección de 1.4 en el proceso anaerobio.

$$Tiempo\ de\ retención\ ideal = 20\ días \times 1.4$$

$$Tiempo\ de\ retención\ ideal = 28\ días$$

Resultado de carga orgánica (CO) en el tiempo ideal de retención (m<sup>3</sup>).

Se aplico la ecuación (13), dando un resultado de (CO) de 7 m<sup>3</sup>/día.

$$COD \times T_R = CO \left( \frac{kg}{1000} \right) \text{ en } m^3$$

Dónde:

$T_R$ : Tiempo de retención (días).

$$250\ kg \times 28\ días = 7000\ kg/día \div 1000 = 7\ m^3/día$$

Determinación de la producción de biogás.

Residuo Sólido orgánicos diarios (desecho de cocina):

$$125\ kg$$

Resultado de sólidos volátiles por kg de sólidos orgánicos diarios.

Según la ecuación (14) aplicada, en donde tenemos un total de residuos residenciales diarios de 125 kg, con un 63 % de sólidos volátiles de desechos agrícolas. Dando como resultado 78.75 kg de sólidos volátiles por kg.

$$T_{rsd} (63\ %) = SV$$

$$125\ kg (0.63) = 78.75\ kg$$



Según Olaya, la producción de metano por kg de sólido volátil (desechos de cocina = 61.9 %).

Resultados de sólidos volátiles en tiempo de retención ideal ( $SV_{\text{tiempo de retención}}$ ) en kg.

Para hallar el resultado se aplica la ecuación (15), en donde tenemos 78.75 kg de sólidos volátiles, en un tiempo de 28 días, obteniendo un resultado de 2205 kg/día según los sólidos volátiles en tiempo de retención ideal.

$$SV T_R = SV_{\text{tiempo de retención ideal}}$$

$$78.75 \text{ kg (28 días)} = 2205 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Producción de biogás  $\text{m}^3$  por kg de sólido volátil (desechos de cocina va hacer de  $0.211\text{m}^3$ , Olaya, 2009).

Resultado producción de metano  $\text{m}^3$  por kg de solido Volátil en tiempo de retención ideal:

En donde se aplicó la ecuación (16), obteniendo un resultado de  $287.99 \text{ m}^3$ .

$$SV_{\text{tiempo de retención ideal}} (0.211) (61.9) = \text{Producción de CH}_4 \text{ (metano) m}^3$$

$$2205 \frac{\text{kg}}{\text{día}} (0.211) (61.9) = 287.99 \text{ m}^3$$

En el tiempo de retención ideal de 28 días se alcanza una producción de metano de  $287.99 \text{ m}^3$

Resultado de consumo de gas de la estufa por hora.

En la ecuación (17), vamos a aplicar para obtener el consumo de gas de la estufa por hora, 1 hora diaria, considerando 6 quemadore de 2" que cada uno consume  $0.32 \text{ m}^3/\text{h}$ , dando un resultado de  $1.92 \text{ m}^3/\text{h}$  el consumo de gas.

$$\text{CGE} = \frac{0.32 \text{ m}^3}{\text{h}} (n)$$

Dónde:

CGE : Consumo de gas de la estufa por hora.

$h$  : Hora (h).

$n$  : Número de quemadores de la estufa.

**Tabla 8:** Consumo de biogás en la cocina (Acosta y Abreu, 2005).

COCINA	Quemador de 2".	$0.32 \frac{m^3}{h}$
	Por Persona / día.	$0.33 \frac{m^3}{día}$
	2 quemadores inyector 2".	$0.5 \frac{m^3}{h}$

En su tesis que se presentó en el salón comunal del conjunto, Acosta, Y. y Abreu, M. (2005) utilizaron una estufa de 6 hornillas redondas de 2" con un consumo de 0.32 m<sup>3</sup>/h por quemador y se podía mantener encendida en su totalidad durante 149.99 horas.

$$CGE = \frac{0.32 \text{ m}^3}{1} (6) = 1.92 \frac{\text{m}^3}{h}$$

Resultado de horas consumo de la estufa biogás producción (HGE).

Aplicamos la ecuación (18), en donde obtuvimos como resultado 149.99 horas de consumo de biogás en la estufa de 6 quemadores de 2".

$$HCE = \frac{\text{Producción de CH}_4 (\text{m}^3)}{CGE (\frac{\text{m}^3}{h})}$$

$$HCE = \frac{287.99 \text{ m}^3}{1.92 \frac{\text{m}^3}{h}} = 149.99 h$$

## Diseño del Biodigestor

Capacidad teórica requerida: 14 m<sup>3</sup>.

### 4.2. Cálculo de Diseño.

En nuestro diseño se tomó en cuenta un diámetro de 2 metros, con un biodigestor de geomembrana de PVC de espesor de 0.6 mm fabricado por CIDELSA, que puede soportar una presión superior a 10 kPa.

**Tabla 18**

Las geomembranas hechas de polietileno de alta densidad (HDPE) y PVC tienen resistencia mecánica.

Geomembrana	Espesor	Resistencia mecánica	Tipo de ensayo	Fuente
HDPE	2.5 mm	12 a 13 MPa	Multiaxial (ASTMD5617)	Ožbolt et al. (2004)
HDPE	0.75 mm	14.7 MPa (11 kN/m)	Uniaxial (ASTM D6693)	Environment Agency.UK Government
	1 mm	15 MPa (15 kN/m)		
	1.25 mm	14.4 MPa (18 kN/m)		
	1.5 mm	14.7 MPa (22 kN/m)		
PVC	0.25 (10 mils)	16.8 MPa (4.2 kN/m)	Uniaxial (ASTM D882)	PVC Geomembrane Institute (PGI). University of Illinois.
	0.51 (20 mils)	16.5 MPa (8.4 kN/m)		
	0.76 mm (30 mils)	16.8 MPa (12.8 kN/m)		
	1.02 mm (40 mils)	16.7 MPa (17.0 kN/m)		
	1.27 mm (50 mils)	16 MPa (20.3 kN/m)		
	1.52 mm (60 mils)	15.8 MPa (24 kN/m)		

Nota: Tomado de Arrieta Palacios, 2016.Elaboracion propia.

Dado que las geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE) y PVC pueden soportar presiones superiores a 1 m de columna de agua, que equivalen a 10 kPa, se puede concluir que no tienen problemas de resistencia mecánica y pueden utilizarse eficientemente para la fabricación de biodigestores tubulares. (García, 2017).

Los valores de resistencia en tensión de un ensayo multiaxial suelen ser mínimo que los de otros métodos, como el ASTM D - 4885. Se puede concluir que una geomembrana tiene una alta resistencia a la tracción y puede resistir una gran deformación si se consideran solo los resultados de los ensayos de tensión uniaxial. Sin embargo, si se consideran los resultados de los ensayos de tensión multiaxial, es diferente, se puede observar que es el que mejor describe las condiciones de esfuerzo 152 y el comportamiento de las geomembranas, como cuando se utilizan para cubrir vertederos. Ožbolt y col. (2004). Las condiciones de esfuerzo en el plástico de un biodigestor tubular (modelo taiwanés) son las mismas. (Arrieta, 2016).

### **Resultado del perímetro de un círculo (P).**

Para hallar el perímetro de un círculo se tomo en cuenta un radio de 1 m, aplicando la ecuación (19), dando un resultado de 6.28 m.

$$P = 2 \pi r$$

Dónde:

P : Perímetro de un círculo (m).

$\pi = 3.1416$ .

r : Radio (1 m).

$$P = (2) \pi (1)$$

$$P = 2 \pi = 6.28 \text{ m}$$

### Resultado del Diámetro (D).

Con la ecuación (20) aplicada, obtuvimos un diámetro de 2 m.

$$D = \frac{p}{\pi}$$

Dónde:

$D$  : Diámetro (m).

$p$ : Perímetro (m).

$\pi = 3.1416$ .

$$D = \frac{6.28 \text{ m}}{3.1416}$$

$$D = 2 \text{ m}$$

### Resultado de la longitud (L).

Tomando en cuenta para hallar la longitud de nuestro diseño del biodigestor tubular flexible de polietileno, aplicamos la ecuación (21), obteniendo un resultado de 5.35 m.

$$L = \frac{V_{Td}}{(\pi r^2)}$$

Dónde:

$L$  : Longitud (m).

$V_{Td}$  : Volumen total del biodigestor (m<sup>3</sup>)

$\pi = 3.1416$ .

$r$  : Radio (m).

$D$  : Diámetro (m).

$$L = \frac{16.8 \text{ m}^3}{(\pi \text{ 1}^2)}$$

$$L = 5.3476 \approx 5.35 \text{ m}$$

### **Resultado del Volumen del Cilindro ( $V_c$ ).**

Con la ecuación (22), hallamos el volumen del cilindro considerando nuestro diseño, obteniendo un resultado de  $16.8 \text{ m}^3$  de capacidad.

$$V_c = \pi r^2 h$$

Dónde:

$V_c$  : Volumen del Cilindro ( $\text{m}^3$ ).

$r$  : Radio (m).

$h$  : Altura (m).

$$V_c = \pi \text{ 1}^2 (5.35 \text{ m})$$

$$V_c = 5.35 \pi \approx 16.8 \text{ m}^3$$

### **Resultado del Volumen esfera ( $V_e$ ).**

Aplicando la ecuación (23), hemos asumido un gasómetro tipo esfera de polietileno de capacidad de  $4.19 \text{ m}^3$ , en donde se va a almacenar como reserva el biogás producido según el aprovechamiento energético al 100 % la materia orgánica hasta que se agote.

$$V_e = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$V_e = \frac{4}{3} \pi \text{ 1}^3$$

$$V_e = 4.18879 \approx 4.19 \text{ m}^3$$

**Resultados del volumen de media esfera ( $V_{em}$ ).**

En donde se aplicó la ecuación (24).

$$V_{em} = \frac{2}{3} \pi r^3$$

$$V_{em} = \frac{2}{3} \pi 1^3$$

$$V_{em} = 2 \text{ m}^3$$

Resultado de la Sumatoria del área total del volumen, usando la ecuación (25), obtuvimos un resultado de  $20.8 \text{ m}^3$ .

$$2 (V_{em}) + V_c$$

$$2 (2) + 16.8$$

$$20.8 \text{ m}^3$$

Resultado del volumen de la mezcla ( $V_{mezcla}$ ), va a ser a las  $3/5$  partes por el volumen del cilindro, en donde se utilizó la ecuación (26), dando un resultado de  $10.08 \text{ m}^3$ .

$$V_{mezcla} = \frac{3}{5} V_c$$

$$V_{mezcla} = \frac{3}{5} 16.8 \text{ m}^3$$

$$V_{mezcla} = 3.21 \pi \approx 10.08 \text{ m}^3$$

Resultado del volumen vacío ( $V_{vacío}$ ).

$$V_{vacío} = V_c - V_{mezcla}$$

$$V_{vacío} = (5.35 - 3.21) \pi$$

$$V_{vacío} = 2.14 \pi \text{ m}^3$$

Resultado de un área de un segmento circular ( $A \overset{\frown}{B}$ ).

Se aplica la ecuación (27), en donde A y B son el área del segmento de la parte circular frontal del cilindro, obteniendo un resultado de  $0.40 \pi \text{ m}^2$ .

$$V_{\text{vacío}} = A \overset{\frown}{B} (h)$$

Dónde:

$V_{\text{vacío}}$  : Igual al volumen que ocupa el biogás en el tanque ( $\text{m}^3$ ).

$A \overset{\frown}{B}$ : Área de un segmento circular ( $\text{m}^2$ ).

h: altura (m).

$$2.14 \pi \text{ m}^3 = A \overset{\frown}{B} (5.35 \text{ m})$$

$$\frac{2.14 \pi \text{ m}^3}{5.35 \text{ m}} = A \overset{\frown}{B}$$

$$A \overset{\frown}{B} = 0.40 \pi \text{ m}^2$$

Con la ecuación (28), vamos a hallar la relación de los ángulos que se forman en las coordenadas A y M; asimismo con M y B, deben ser idénticos o iguales, se muestra en la parte frontal del diámetro del cilindro si trazamos una línea en el centro, asimismo hallaremos la altura promedio que va a estar muestra mezcla en reposo dentro del biodigestor que tiene un diámetro de 2 m y una longitud de 5.35 m.

$$A \overset{\frown}{B} = \frac{r^2}{2} \left( \frac{\theta \pi}{180^\circ} - \sin \theta \right)$$

Dónde:

$A \overset{\frown}{B}$ : Área de un segmento circular ( $\text{m}^2$ ).

r : Radio (m).

$\pi$  : 3.1416.

$\theta$ : Angulo theta ( $160^\circ$ ).

$$0.40 \pi \text{ m}^2 = \frac{1^2}{2} \left( \frac{\theta \pi}{180^\circ} - \sin \theta \right)$$



$$0.40 \pi \text{ m}^2 = 0.5 \left( \frac{\theta \pi}{180^\circ} - \sin \theta \right)$$

$$\frac{0.40 \pi \text{ m}^2}{0.5} = \left( \frac{\theta \pi}{180^\circ} - \sin \theta \right)$$

$$\left( \frac{\theta \pi}{180^\circ} - \sin \theta \right) = 0.80 \pi$$

$$\left( 160^\circ \times \frac{\pi}{180^\circ} - \sin 160^\circ \right) = 0.80 \pi$$

$$2.4505 = 2.513$$

En la ecuación (29), tenemos el radio, con el coseno del ángulo theta que es de  $80^\circ$  porque  $80^\circ + 80^\circ = 160^\circ$ , obteniendo un resultado de la  $h''$  de 0.17 m.

$$h'' = r (\cos \theta)$$

Dónde:

$h''$  : h prima (m).

$r$  : Radio (m).

$\vartheta$  : Angulo theta ( $80^\circ$ ).

$$h'' = 1 \text{ m} (\cos 80^\circ)$$

$$h'' = 0.17 \text{ m}$$

Para hallar la altura promedio de la mezcla dentro del biodigestor se utilizó la ecuación (30), en donde intervienen el  $r$  y la  $h''$ , en donde se suman ambas variables, obteniendo como resultado 1.17 m.

$$h = r + h''$$

Dónde:

$h$  : Altura (m).

$r$  : Radio (m).

$h''$  : h prima (m).

$$h = 1 + 0.17$$

$$h = 1.17 \text{ m}$$

### **Resultado de la Presión manométrica ( $P_g$ ).**

Como dato la altura del fluido que va a estar dentro del biodigestor va a ser de 1.17 m, con una densidad (la mezcla) de  $14.29 \text{ kg/m}^3$ . Con la ecuación (31), hallamos la presión manométrica que es de 163.85 Pa.

$$P_g = h \rho g$$

Dónde:

$h$  : Altura del fluido (1.17 m).

$\rho$  : Densidad del fluido ( $14.29 \text{ kg/m}^3$ ).

$g$  : Gravedad  $9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$ .

$$P_g = (1.17 \text{ m})(14.29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$P_g = 163.84914 \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{s}^2} \approx 163.85 \text{ Pa}$$

### **Resultado de la Presión Absoluta ( $P_{ab}$ )**

Empleando la ecuación (32), como resultado tenemos 101488.85 Pa que va hacer la presión absoluta.

$$P_{ab} = P_{atm} + P_g$$

Dónde:

$P_{ab}$  : Presión Absoluta (Pa).

$P_{atm}$  : Presión atmosférica (101325 Pa).

$P_g$  : Presión manométrica (Pa).

$$P_{ab} = 101325 \text{ Pa} + 163.85 \text{ Pa}$$

$$P_{ab} = 101488.85 \text{ Pa}$$

### Resultados de la Densidad del metano ( $\rho_{CH_4}$ ).

La densidad del metano, usamos la ecuación (33), cuando hay una temperatura en el ambiente de  $20 \text{ }^\circ\text{C} = 293.15 \text{ K}$ , peso molecular del metano de  $16.04 \text{ g/mol}$ , y una presión absoluta de aproximadamente a  $1 \text{ atm}$ .

$$\rho_{CH_4} = \frac{P P_M}{R T}$$

Dónde:

$P$  : Presión Absoluta (Pa).

$R$  : Constante universal de los gases ideales ( $0.08205746 \frac{\text{atm} \times \text{L}}{\text{mol} \times \text{K}}$ ).

$T$  : Temperatura absoluta (K).

$P_M$  : Peso molecular.

$\rho_{CH_4}$  : Densidad del metano.

$$\rho_{CH_4} = \frac{1 \text{ atm} ( 16.04 \frac{\text{g}}{\text{mol}} )}{0.082 \frac{\text{atm} \times \text{L}}{\text{mol} \times \text{K}} \times 293.15 \text{ K}}$$

$$\rho_{CH_4} = 0.667 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

## Resultados conversión electromecánica y generación de electricidad.

Demanda de biogás para energía eléctrica.

Se determinó la cantidad de biogás necesaria para producir la cantidad de energía eléctrica requerida para una vivienda en el centro urbano de las Torres-Laredo.

El biogás, un gas inflamable con una elevada capacidad calorífica de 5.20 kcal/m<sup>3</sup>, se compone principalmente del tipo de sustrato utilizado y digerido durante el proceso. Según Fandiño (2018). Se estima que el metano promedio se encuentra en el biogás realizado a partir de residuos orgánicos en un 65 %. 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale en aproximadamente 6 kilovatios hora de electricidad debido a su capacidad calorífica. (Freitas et al., 2019).

El parámetro varía según las centrales eléctricas. Se espera que los valores de n en las centrales con grandes sistemas de turbinas sean del 35 % al 42 % y del 25 % en las centrales con pequeños generadores, respectivamente. (Ferreira et al., 2019).

Según su tesis se consideró n del motor generador 37 %. (Fandiño, 2018).

En la siguiente formula (34), tuvo como resultado un 2.7 m<sup>3</sup>/día, que se requiere.

$$V_{\text{bg-necesario}} = \frac{\text{Consumo diario } \frac{\text{kWh}}{\text{día}}}{6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} (65 \%)(n)}$$

**Tabla 19**

Biogás necesario aplicando la fórmula (34).

<b>Nº</b>	<b>Descripción</b>	<b>Consumo diario</b> ( $\frac{\text{kWh}}{\text{día}}$ )	<b>Biogás necesario</b> ( $\frac{\text{m}^3}{\text{día}}$ )
<b>1</b>	<b>Iluminación interior</b>		
1.1	bombilla led (luz blanca)	0.9	0.62
<b>2</b>	<b>Equipos electrónicos</b>		
2.1	Televisión	0.9	0.62
2.2	Computadora	0.4	0.28
2.3	Celular	0.12	0.08
2.4	Plancha	1	0.69
2.5	Licuadaora	0.35	0.24
2.6	Estéreo	0.15	0.10
2.7	Radio	0.045	0.03
2.8	DVD	0.06	0.04
<b>TOTAL</b>		<b>3.925</b>	<b>2.7</b>

Nota: Elaboración propia.

Dimensionamiento del sistema de generación de electricidad.

El componente más valioso para la instalación del proyecto de generación de electricidad con aprovechamiento de biomasa residual (estiércol de ganado) es el sistema de generación eléctrica. Para el diseño del grupo motor generador, se utilizarán los siguientes parámetros: el poder calorífico del biogás (potencia calorífica), la eficiencia del motor generador, la cantidad de biogás disponible cada día y el tiempo de uso de la planta de generación. Para las condiciones de diseño, se necesitan 9.6 m<sup>3</sup> de biogás por día y 2.7 m<sup>3</sup> de biogás por día para cubrir la demanda eléctrica diaria. Por lo tanto, es posible calcular la Producción Teórica de Electricidad (PTE) [kWh/día] conociendo el valor del Poder Calorífico Inferior (PCI) del biogás y la cantidad diaria de biogás para la demanda ecuación (35). Los cálculos se realizaron utilizando un PCI

igual a 6 kWh/m<sup>3</sup> (Freitas et al., 2019). Como resultado, se determina que la producción teórica de electricidad (PTE) es de 16.2 kilovatios hora diarios.

$$PTE = V_{bn} \text{ PCI}$$

Dónde:

*PTE* : Producción Teórico de Electricidad (kWh/día).

*V<sub>bn</sub>* : Biogás necesario (m<sup>3</sup>/día).

*PCI* : Poder Calorífico Inferior del biogás igual de 6 kWh/m<sup>3</sup>.

$$PTE = 2.7 \times 6$$

$$PTE = 16.2 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

El PCI del biogás está inversamente relacionado con el contenido de CO<sub>2</sub>; cuanto mayor es la concentración de dióxido de carbono, menor es el valor calorífico. El contenido de metano del biogás está directamente relacionado con la PCI del biogás. Por lo tanto, el proceso de producción de biogás debe estar en un entorno que fomente una mayor producción de metano y una menor producción de CO<sub>2</sub> para maximizar su PCI. La eficiencia total de generación (n) de las máquinas térmicas (como grupos electrógenos, microturbinas de gas, etc.) se tiene en cuenta al calcular la Producción Real de Electricidad (PRE). (Freitas et al., 2019).

Según Freitas et al. (2019), se pueden utilizar para obtener la Producción Real de Electricidad (PRE) ecuación (36) y la Potencia Eléctrica (PE) ecuación (37) de la planta de generación. Para calcular, se utilizó un factor de 37 % para el grupo electrógeno. (Fandiño, 2018).

$$PRE = \frac{PTE (n)}{100}$$

$$PRE = \frac{16.2 (37\%)}{100}$$

$$PRE = 5.994 \approx 6 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

$$PE = \frac{PRE}{(HO)(\cos \phi)} \quad (37)$$

Dónde:

PRE: Producción Real de Electricidad (kVA).

HO: Trabajo del grupo electrógeno (número de horas).

$\cos \phi$  : Factor de potencia de 0.8 a 1.

$$PE = \frac{6}{(5)(1)}$$

$$PE = 1.2 \text{ kVA}$$

A continuación, los apuntes del sistema de generación eléctrica a biogás para una vivienda que se encuentra en las Torres – Laredo.

## Tabla 20

Resultados.

Parámetros	Unidades	Valor calculado
Producción diaria de biogás ( $V_g$ ).	m <sup>3</sup> /día	9.6
Necesidad diaria de biogás para demanda eléctrica ( $V_{bn}$ ).	m <sup>3</sup> /día	2.7
Poder calorífico inferior (PCI).	kWh/m <sup>3</sup>	6
Potencia teórica de producción de electricidad (PTE).	kWh/día	16.2
Eficiencia del motor generador ( $\eta$ ).	%	37
Potencia real de producción de electricidad (PRE).	kWh/día	6
Número de horas de operación (HO).	hrs	5
Factor de potencia.	Cos $\phi$	1
Potencia eléctrica activa (PE).	kW	1.2
Potencia eléctrica aparente (PE).	kVA	1.2

Nota: Elaboración propia.

## V. DISCUSIÓN

- De acuerdo a los resultados de nuestro proyecto académico de investigación, en donde se tomó en cuenta 8 vacas adultas que hay en la granja de la población las Torres – Laredo, que generan 15 kg de excretas por día, dando un total de 120 kg de excretas, así mismo se tomó una relación de 1:1, siendo excretas y el agua en igual medida, dando un resultado final de 240 kg la mezcla, que va a estar dentro de un biodigestor tubular de capacidad de 16.8 m<sup>3</sup>, durante 30 días un mes, con diferentes temperaturas donde varían de 18 °C durante la noche y 20 °C en la mañana, que se genera 9.6 m<sup>3</sup> de biogás, teniendo aparte una gasómetro tipo esfera de 4.19 m<sup>3</sup> de capacidad para almacenar biogás, por lo tanto la cantidad necesaria es de 2.7 m<sup>3</sup> por día de biogás para la demanda eléctrica, que se necesita para producir energía eléctrica con grupo electrógeno a base de metano.
- Por otro lado, también se tomó en cuenta los residuos domiciliarios como materia orgánica, para usarlos como un aprovechamiento energético para producir biogás, se recolecto un total de 125 kg por día de 12 viviendas y un restaurante campestre, dando un total de 250 kg por día, siendo una mezcla con agua de iguales medidas, como la carga orgánica, que durante los 28 días de retención se generó 287.99 m<sup>3</sup>, para la cocción de alimentos se consideró una cocina con 6 quemadores de 2 pulgadas que consumen 0.32 m<sup>3</sup>/h cada uno, dando un rendimiento de 1.92 m<sup>3</sup>/h por quemador, como resultado final el tiempo de horas de consumo de la estufa biogás de producción es de 149.99 horas, si un día tiene 24 horas, aproximadamente para 6 días en la cocción de alimentos.



## VI. CONCLUSIONES

- El consumo diario de electricidad de una vivienda en el asentamiento Las Torres - Laredo es de 3.925 kilovatios - hora, con una demanda eléctrica de 2.14 kilovatios-hora para alumbrado interior y equipos electrónicos.
- Se encontró que 8 vacas grandes consumían 120 kg de estiércol por día en el asentamiento Las Torres - Laredo como materia prima. La abundancia de boñiga disponible depende del manejo del ganado en la región. Se aprovecha el 100 % del estiércol, las excretas y el agua tienen una relación de uno en uno.
- Se determinó la capacidad del biodigestor para producir electricidad a partir de estiércol de ganado. Se encontró que el volumen de biomasa en el biodigestor era de 7.2 m<sup>3</sup> y el volumen de biogás era de 9.6 m<sup>3</sup> con una relación de excreta agua de 1. Este es el volumen de biogás que se producirá en el reactor cada día. Se eligió un biodigestor tubular (biobolsa de plástico) con un volumen de 16.8 m<sup>3</sup>, un ancho de rollo de 2 m, un radio de 1 m, una longitud de 5.35 m y una relación L/D de 2.68. La producción de electricidad teórica es de 16.2 kilovatios por día. El grupo electrógeno a biogás PUXIN, de 1.5 kW, 220 V, 60 Hz, produce 6 kilovatios hora diarios, lo que es suficiente para cubrir la demanda de energía eléctrica de las viviendas en el centro urbano de Las Torres - Laredo (3.925 kilovatios hora diaria).
- Se calculó que 12 hogares reciben 72 kg de materia orgánica al día, mientras que un restaurante recolecta 53 kg al día cada semana, lo que suma 125 kg de desechos orgánicos al día.
- La construcción de un biodigestor de desechos orgánicos con capacidad para producir 287.99 m<sup>3</sup> de biogás para uso doméstico en 28 días.

## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener en cuenta que de la masa de desechos orgánicos el 75 % es masa volátil que puede generar biogás para esto solo degradándose el 60 % que es masa útil para los proyectos de producción de biogás teniendo en cuenta que con el pasar del tiempo estos porcentajes pueden modificarse o puede ser variados.
- Se recomienda realizar el diseño establecido del biodigestor de acuerdo a los cálculos en el presente trabajo de investigación como corresponde, por efecto metodología se calculó para la capacidad de 125 litros de agua, la cual sirvió para determinar que por cada 50/70 kg/l, sin agitar el tanque, en esta prueba se generó 2205 litros de biogás.
- Se recomienda evaluar la temperatura promedio para que tenga un balance constante, el tiempo ayudara a tener resultados de la descomposición de la materia prima como los residuos orgánicos y las excretas de vacas.
- Se recomienda evaluar con otros tipos de masas orgánicas su capacidad máxima de fermentación de acuerdo al tiempo y la producción de energía eléctrica máxima en kW/día.

## VIII. PROPUESTAS

- Se propone dar uso la materia orgánica según su tipo, y saber su potencial energético de biogás y el tiempo que se necesita para la producción de gas natural y dar una comparación entre ellas, para que pueda hacer funcionar, un generador eléctrico, que su combustible sea a base de biogás, así mismo adaptar por ductos a turbinas que por medio de ellas generen electricidad para centro poblado o ciudad.
- Se propone poner en práctica las energías renovables como la biomasa un recurso natural que es aprovechado con fines de reducir la contaminación ambiental emitida por los combustibles fósiles como el petróleo que es muy contaminante para el mundo.

## REFERENCIAS

1. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Informe de evaluación de resultados 2020, Plan Estratégico Institucional 2019 – 2024 (Oficina General de Planeamiento y Presupuesto Oficina de Planeamiento. Perú, Marzo, 2021, p.165.
2. RAJENDRAN, Karthik, ASLANZADEH, Solmaz y TAHERZADEH, Mohammad. Biogás Doméstico Digestores.27 Julio 2012. Una Revisión. Energías 5, 2911-2942. p.82. Publicado: el 8 Agosto del 2012.
3. En el artículo según autores: BRIZUELA, Nildia, GUILLEN, Eber y HERNANDEZ, Néstor. Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales. Diciembre 2016, ISSN 2444-4936.p.16.Disponible en ([https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias Ambientales y Recursos Naturales/vol2num6/Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales\\_V2\\_N6\\_4.pdf](https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol2num6/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V2_N6_4.pdf) ).Citado el 20 de Abril del 2023.
4. GUTIERREZ, Ruth. Diseño de un biodigestor para generación de electricidad a partir de estiércol de ganado vacuno en el caserío el porvenir, distrito de Bagua Grande-Amazonas. Perú: Bagua Grande. 20 de Septiembre del 2021, p.65.
5. ARDILA MONDRAGON, Edwin Darwin. Aprovechamiento de los residuos orgánicos producidos en los hogares del conjunto residencial bellavista, sector rural del municipio de garzón, para la obtención de biogás a partir de la construcción de un biodigestor. Bolivia: Universidad Pontificia Bolivariana, Septiembre del 2020, p.48.
6. En el artículo según autores: GARCÍA, Jonathan y PONCE, Cristopher. Elaboración de Biodigestor de Estiércol Bovino para Transformación de Biogás a Energía Eléctrica. ISSN: 2395-7492, 18 de Julio del 2020, p.6. Disponible en (<https://sloap.org/journals/index.php/irjmis/article/view/967> ).Citado el 9 de Abril del 2023.

7. COLLASOS, Denis y VARGAS, Lenin. Diseño de un sistema de biodigestores para el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos del camal municipal de Jaén – Perú. Tesis para optar el Título profesional de ingeniero mecánico electricista. JAÉN: PERÚ, Noviembre, 2019, p. 78.
8. VARNERO, María. Manual de biogás. Chile: Santiago de Chile, 2011, ISBN 978-95-306892-0, p.119.
9. FERREIRA, Jonni, et al. Generación de Electricidad a partir de Biogás de Yuca utilizando estiércol de ganado como inóculo: Un Evaluación del Potencial en la Quilombola Comunidad (Brasil). Brasil: Comunidad de Quilombola, Junio del 2019, ISSN: 2349-6495. Disponible en: [<https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.6.6.21> ].Citado el 29 de Abril 2023.
10. NAKANA, P.M., et al. “Introducción de digestores domésticos de biogás en los hogares rurales del municipio de Maluti-a-Phofung, Sudáfrica”. Sudáfrica: Academia de Ciencias de Sudáfrica, volumen 30, mayo 2019, p.10.
11. PRADA, Aldo. “Obtención de biogás a partir de estiércol de aves para suministro de las incubadoras de la agropecuaria Chimú”. Perú: Chiclayo. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, 2019, p.64.
12. MULLO, AS, et al. Implementación de un biodigestor de estiércol bovino para la producción de gas para uso unifamiliar. Ecuador: Universidad de la Fuerzas Armadas - ESPE Departamento de Eléctrica y Electrónica Sangolquí, Octubre del 2018.Citado el 30 de Abril 2023.Disponible en: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185701003>
13. FREITAS, FF, et al. El mercado brasileño de generación distribuida de biogás: panorama general, desarrollo tecnológico y estudio de caso. Revisiones de

energía renovable y sostenible, volumen 101, Marzo 2019, p.146-157. Citado el 30 de Abril 2023. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.007>

14. CHACÓN, José. Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas. Editorial CUBASOLAR, 2017.ISBN 959-7113-33-3, p.70.
15. FANDIÑO, María. Estudio de viabilidad técnico-económica para sistema de trigeneración a partir de biogás en explotación ganadera. España: Universidad de Coruña, Diciembre de 2018, p.164.
16. GARCÍA, Rafael, et al. Diseño de un biodigestor tubular para zonas rurales de la región Piura. Piura: Universidad de Piura. Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Laboratorio de Energía, Noviembre 2017,p.22.Disponible en: [http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Garcia\\_Rafael\\_biodigestor.pdf](http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Garcia_Rafael_biodigestor.pdf)
17. LUNA DE LA FUENTE, Sara. Trabajo sobre biomasa: Descripción de la tecnología y ejemplo práctico. España: Universidad Carlos III de Madrid. Octubre 2018, 5.p.Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/328335756\\_Trabajo\\_sobre\\_biomasa\\_Descripcion\\_de\\_la\\_tecnologia\\_y\\_ejemplo\\_practico](https://www.researchgate.net/publication/328335756_Trabajo_sobre_biomasa_Descripcion_de_la_tecnologia_y_ejemplo_practico) . Citado el 11 de mayo del 2023.
18. ARENA, Brandon. Propuesta para el diseño de un biodigestor anaerobio como sistema de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, generados en las viviendas del proyecto “La Villa Solar” ubicado en la ciudad de Buenaventura – Colombia. COLOMBIA: Universidad de La Salle, Bogotá, Junio del 2019, p.114.
19. TOALA, Edwin. Diseño de un biodigestor de polietileno para la objeción de biogás a partir del estiércol de ganado en el Rancho Veronica. Riobamba - Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 4 de Julio del 2013.p.138.

20. BOLIVAR, Gabriel. Hidrólisis: en qué consiste y ejemplos de reacciones, 18 de noviembre del 2019, Disponible en: <https://www.lifeder.com/hidrolisis/> . Citado el 27 de mayo del 2023.
21. ADEKUNLE, K. F. y OKOLIE, J. A. Una revisión del proceso bioquímico de la digestión anaeróbica. Nigeria: Universidad de Agricultura Michael Okpara, vol.6 N° 3, marzo del 2015, p.8.Disponible en: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=55061> . Citado el 27 de mayo del 2023.
22. LIJARZA GALVEZ, Y. I. Producción de biogás a partir del estiércol de ganado vacuno y gallinaza durante el proceso de digestión anaerobia a escala de laboratorio. *Universidad Nacional Agraria de la Selva*, 2017, p.7-10.
23. LÓPEZ, losvani., et al. “Estimación de la producción de biogás a partir de un modelo de simulación de procesos”. Cuba: Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, volumen 46, Marzo, 2019, versión impresa ISSN 0253-5777versión On-line ISSN 2223-4861.
24. CÁRDENAS, Lina. Perspectivas del ensayo de Potencial Bioquímico de Metano – PBM para el control del proceso de digestión anaerobia de residuos. Colombia: Universidad del Valle, 5 de enero de 2016, p.1 - 14.Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/5629/5799> . Citado el 25 de mayo del 2023.
25. SARAZ, Jairo. Evaluación de un sistema de biodigestión en serie para clima frío. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, septiembre 14 del 2007, p.18.

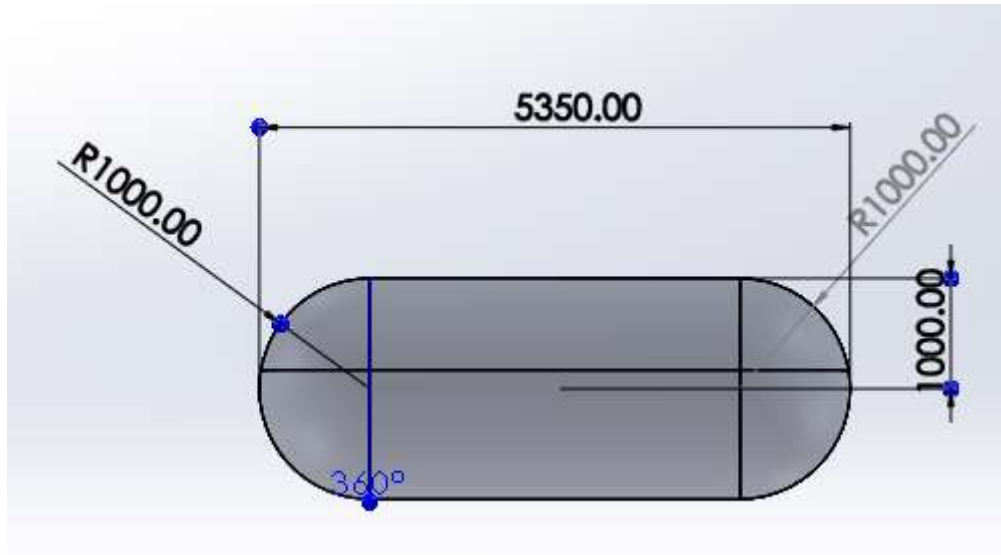
26. MANYI-LOH, Christy, et al. Digestión anaeróbica microbiana (biodigestores) como enfoque para la descontaminación de desechos animales en el control de la contaminación y la generación de energía renovable. International Journal of Environmental Research and Public Health ISSN 1660-4601, public Health 2013, p.28.Citado el 30 de Abril del 2023.Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph10094390>
27. MARTÍ, Jaime. Biodigestores Familiares. Bolivia: Biodigestores de polietileno tubular, 2008, p.84.Citado el 30 de Abril del 2023.Disponible en: <https://www.bivica.org/file/view/id/3546>
28. TORRES, Alfredo. "El Gas Natural: Una posibilidad de combustible limpio en el Mercado Automotriz del Ecuador". Ecuador: UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR - Sede Ecuador, 2008, p.94.
29. OSINERGMIN (Organismo supervisor de la inversión en energía y minería). "El gas natural y sus diferencias con el GLP. Perú Gerencia adjunta de regulación tarifaria, 2015, p.16.
30. GUZMÁN, Adriana y CRIOLLO, Erika. "Elaboración de un biodigestor piloto tubular para la producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno, en una vivienda de la comunidad de tembo". Ecuador: Riobamba. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Julio 2014, p.128.Citado el 1 de Mayo del 2023.Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/344025543>
31. OLAYA, Yeison. Fundamentos para el diseño de biodigestores. Palmira: Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Julio de 2009, p.32.Disponible en <https://es.scribd.com/doc/154596695/FUNDAMENTOS-PARA-EL-DISENODE-BIODIGESTORES#> . Citado el 13 de Mayo del 2023.



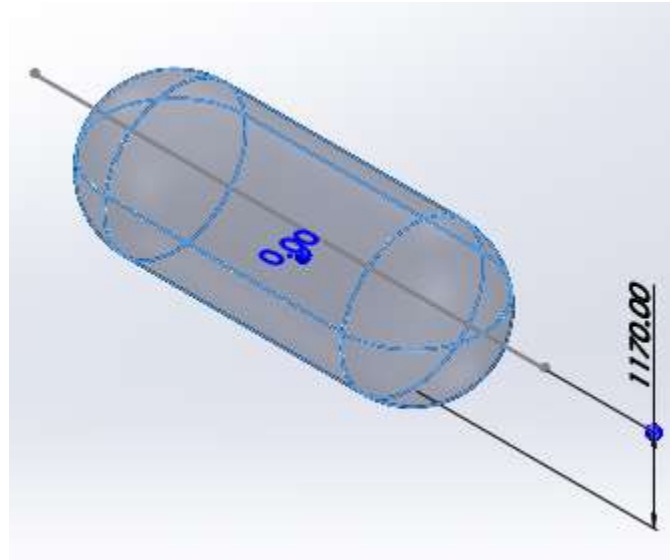
32. OSORIO, Jiménez. “Generación de biogás en la avícola las Amelias de la ciudad de Latacunga en el año 2016, a partir del estiércol de gallina. Propuesta de diseño de un biodigestor”. ECUADOR: Latacunga, Julio del 2017, p.116.
33. MEDINA, María. Diseño de un Biodigestor para el Aprovechamiento de la Materia Orgánica Generada en la Plaza de Mercado del Municipio de Sogamoso – Boyacá. Colombia: Universidad Nacional Abierta y A Distancia – UNAD, 2021, p.123.
34. ACOSTA, Yaniris y ABREU, Ma Cristina. La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Cuba: Ciudad de La Habana, Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. XXXIX, núm. 1, 2005, pp. 35-48, ISSN: 0138-6204.
35. DELGADO, Ana. QUIMICA. México: Industria Editorial Mexicana, 2013, p.1172, ISBN 978-007-340268-0.
36. MUNICIPAL DISTRICTAL DE LAREDO. “Datos Generales”. Citado el 25 de Septiembre del 2023. Disponible en: <https://munilaredo.gob.pe/datos-generales/>
37. TAPIA, Valerio. Instalación y uso de biogás. Perú: Care Perú, proyecto ramis resiliente, octubre del 2016, p.17.
38. SENAMHI-Perú. Temperaturas de año 2023. Citado el 22 de Septiembre del 2023. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
39. ARRIETA, Winston. Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado. Piura: Universidad de Piura, Junio del 2016.p.251.
40. Alibaba. Generador eléctrico características, disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/1-5kw-methane-gas-generator-for-60368245893.html> . Citado el 28 de mayo 2023.

## ANEXOS

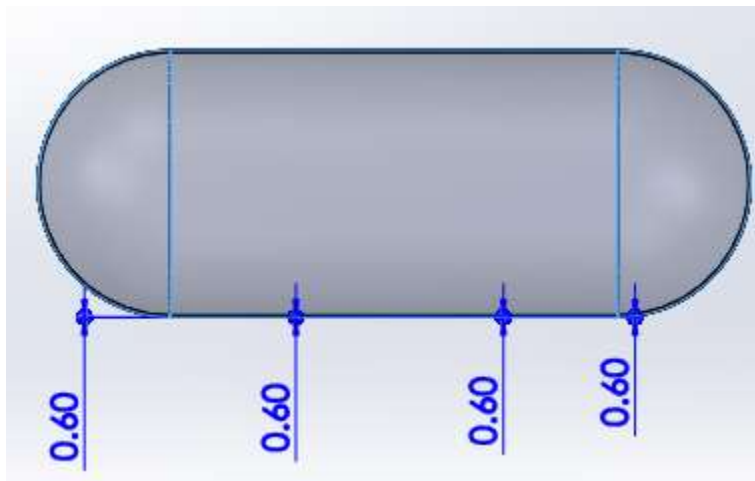
Dibujo del diseño del biodigestor medidas en milímetros.



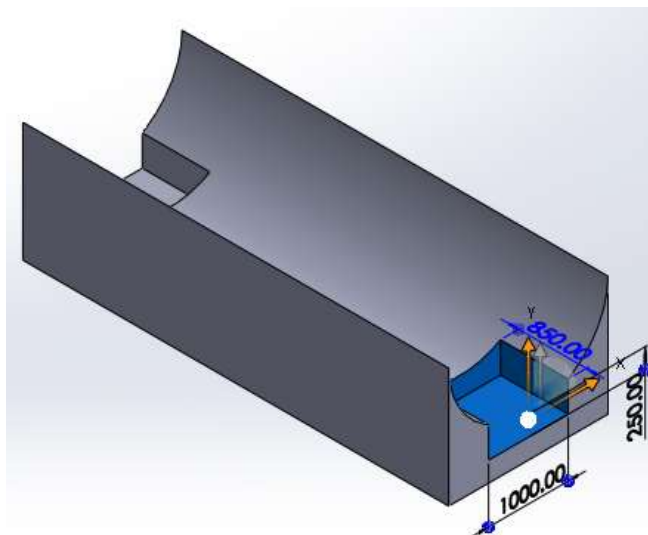
Nota: Elaboración propia.



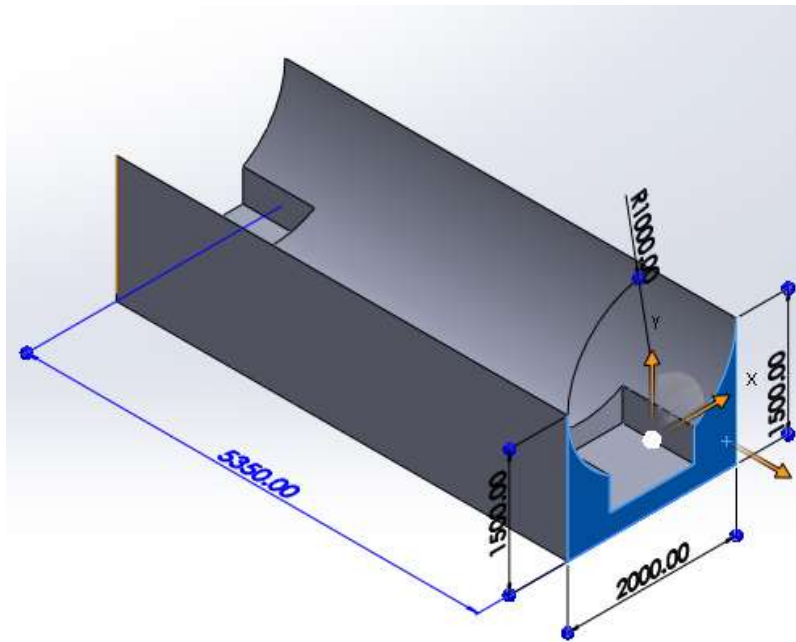
Nota: Elaboración propia.



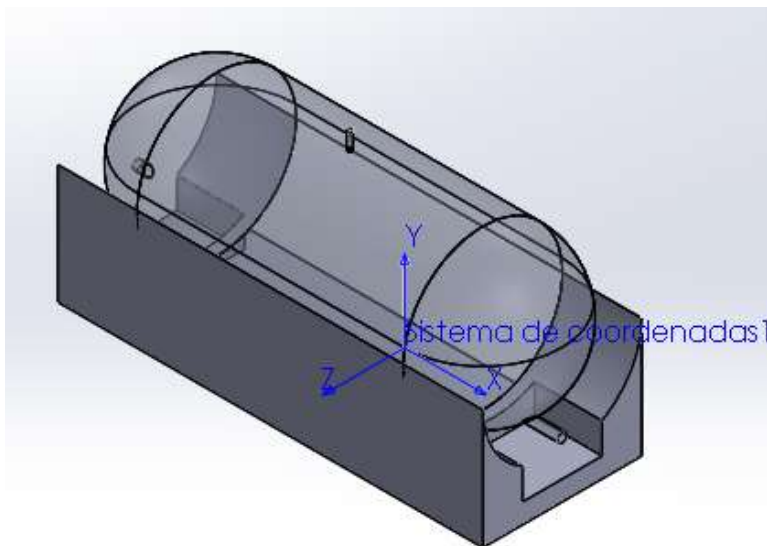
Nota: Elaboración propia.



Nota: Elaboración propia.



Nota: Elaboración propia.



Nota: Elaboración propia.

BIODIGESTOR PARA ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO		
FÓRMULAS	NOMBRE	RESULTADOS
$C_d = S + H_2O$	<b>Carga diaria (<math>C_d</math>).</b>	240 kg/día
$S = C_{EX-u} N_a$	<b>Cantidad de sustrato (S).</b>	120 kg
$V_{bm-disp.} = \frac{C_d}{\rho_{agua}}$	<b>Volumen de la biomasa disponible (<math>V_{bm-disp.}</math>).</b>	$0.24 \frac{m^3}{día}$
$V_{bm-bg} = V_{bm-disp.} T_R$	<b>Volumen de la biomasa en el digestor (<math>V_{bm-bg}</math>).</b>	$7.2 \frac{m^3}{días}$
$V_g = C_d (\lambda)$	<b>Volumen de Biogás (<math>V_g</math>).</b>	9.6 m <sup>3</sup>
$V_{Td} = V_{bm-bg} + V_g$	<b>Volumen total del biodigestor (<math>V_{Td}</math>).</b>	16.8 m <sup>3</sup>
$\rho_m = \frac{m}{V_{Td}}$	<b>Densidad de la mezcla (<math>\rho_m</math>).</b>	14.29 kg/m <sup>3</sup>

PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD		
FÓRMULAS	NOMBRE	RESULTADOS
$V_{bg-necesario} = \frac{\text{Consumo diario } \frac{kWh}{día}}{6 \frac{kWh}{m^3} (65\%)(0.37)}$	<b>Demanda del gas natural (biogás) para energía eléctrica.</b>	$2.7 \frac{m^3}{día}$
$PTE = V_{bn} PCI$	<b>Dimensionamiento del sistema de generación de electricidad.</b>	$16.2 \frac{kWh}{día}$
$PRE = \frac{PTE (n)}{100}$	<b>Producción real de electricidad.</b>	$6 \frac{kWh}{día}$
$PE = \frac{PRE}{(HO)(\cos \phi)}$	<b>Potencia eléctrica de la planta de generación.</b>	1.2 kVA

BIODIGESTOR CON RESIDUOS RESIDENCIALES		
FÓRMULAS	NOMBRE	RESULTADOS
R.O.+ RSO = RSD	<b>Residuos sólidos diarios (RSD)</b>	125kg
$T_{rs} = 0.16 ( T_{rsd} )$	<b>Total, aprovechamiento residuos sólidos (<math>T_{rs}</math>).</b>	20 kg
$\frac{T_{rs}}{(T_{rsd} + m_{H_2O})} = \frac{8}{100}$	<b>Para hallar la masa del agua requerida para la mezcla.</b>	125 kg
$T_{rsd} + H_2O = COD$	<b>Carga orgánica diaria (COD).</b>	250 kg
$COD \times T_R = CO \left( \frac{kg}{1000} \right) \text{ en } m^3$	<b>Carga orgánica en el tiempo ideal de retención (CO).</b>	7 m <sup>3</sup> /dia
$T_{rsd} (63 \%) = SV$	<b>Sólidos Volátiles por Kg de sólidos Orgánicos Diarios (SV).</b>	78.75 kg
Según Olaya, 2009 = 61.9 %	<b>Producción de CH<sub>4</sub> (metano), basura o desechos de cocina.</b>	0.619
$SV T_R = SV_{tiempo de retención}$	<b>Sólidos Volátiles en tiempo de retención ideal (<math>SV_{tr}</math>).</b>	2205 $\frac{kg}{dia}$
Según Olaya, 2009 = 0.211 m <sup>3</sup> con una porción del 100 %.	<b>Producción de biogás m<sup>3</sup> por kg de sólido Volátil (desechos de cocina).</b>	0.211 m <sup>3</sup>
$SV_{tiempo de retención} (0.211) (61.9) =$ Producción de CH <sub>4</sub> (metano) m <sup>3</sup>	<b>Producción de CH<sub>4</sub> (metano).</b>	287.99 m <sup>3</sup>
$CGE = \frac{0.32 m^3}{h} (n)$	<b>Consumo de gas de la estufa por hora (CGE).</b>	1.92 $\frac{m^3}{h}$
$HCE = \frac{\text{Producción de CH}_4 (m^3)}{CGE(\frac{m^3}{h})}$	<b>Horas de consumo de la estufa (HCE).</b>	149.99 h

CÁLCULOS DEL DISEÑO		
FÓRMULAS	NOMBRE	RESULTADOS
$P = 2 \pi r$	<b>Perímetro de un círculo (P).</b>	6.28 m
$D = \frac{P}{\pi}$	<b>Diámetro (D).</b>	2 m
$L = \frac{4 V_{Td}}{\pi D^2}$	<b>Longitud (L).</b>	5.35 m
$V_c = \pi r^2 h$	<b>Volumen del Cilindro (<math>V_c</math>).</b>	16.8 m <sup>3</sup>
$V_e = \frac{4}{3} \pi r^3$	<b>Resultado del Volumen esfera (<math>V_e</math>).</b>	4.19 m <sup>3</sup>
$V_{em} = \frac{2}{3} \pi r^3$	<b>Resultados del volumen de media esfera (<math>V_{em}</math>)</b>	2 m <sup>3</sup>
$2 (V_{em}) + V_c$	<b>Sumatoria del área total del volumen.</b>	20.8 m <sup>3</sup>
$V_{mezcla} = \frac{3}{5} V_c$	<b>Volumen de la mezcla (<math>V_{mezcla}</math>)</b>	10.08 m <sup>3</sup>
$V_{vacío} = V_c - V_{mezcla}$	<b>Volumen vacío (<math>V_{vacío}</math>).</b>	2.14 $\pi$ m <sup>3</sup>
$V_{vacío} = A \overset{\frown}{B} (h)$ $A \overset{\frown}{B} = \frac{r^2}{2} \left( \frac{\theta \pi}{180^\circ} - \sin \theta \right)$	<b>Área de un segmento circular (<math>A \overset{\frown}{B}</math>).</b>	0.40 $\pi$ m <sup>2</sup> 2.5 = 2.5
$P_g = h \rho g$	<b>Presión manométrica (<math>P_g</math>).</b>	163.85 Pa
$P_{ab} = P_{atm} + P_g$	<b>Presión absoluta (<math>P_{ab}</math>).</b>	101488.85 Pa
$\rho_{CH_4} = \frac{P P_M}{R T}$	<b>Densidad del metano (<math>\rho_{CH_4}</math>)</b>	0.667 $\frac{g}{L}$



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, MIREZ TARRILLO JORGE LUIS, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis Completa titulada: "Propuesta de diseño de un Biodigestor para generar la Electricidad y suministro de biogás a partir de excretas de ganado vacuno y residuos residenciales para el centro poblado Las Torres – Laredo", cuyos autores son LAYZA NARVAEZ JAIME ISAIAS, LAYZA NARVAEZ JAIME ISAI, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 15.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 27 de Diciembre del 2023

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
MIREZ TARRILLO JORGE LUIS <b>DNI:</b> 27423478 <b>ORCID:</b> 0000-0002-5614-5853	Firmado electrónicamente por: JMIREZTA el 27-12- 2023 22:56:40

Código documento Trilce: TRI - 0710727