



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
MECÁNICA ELÉCTRICA**

**TESIS**

**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR CON ESTIÉRCOL DE  
GANADO VACUNO PARA EL CASERÍO LA ZANJA –  
CAJAMARCA.**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Autores:**

**Bach. Hernández Gil Miguel Alberto.**

**Bach. Zapata Vigil Manuel Enrique.**

**Asesor:**

**Dr. Olortegui Yume, Jorge Antonio. Ph. D.**

**Línea de Investigación:**

**Generación de Energía.**

**Pimentel – Perú**

**2018**

**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR CON ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO  
PARA EL CASERÍO LA ZANJA – CAJAMARCA.**

Presentado a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de  
Sipan para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánica Electricista.

**APROBADO POR:**

---

**Mg. Juan Carlos Vives Garnique**  
Presidente del Jurado de Tesis

---

**Mg. Silvia Yvone Gastiaburú Morales**  
Secretaria del Jurado de Tesis

---

**Mg. Carlos Alexis Alvarado Silva**  
Vocal del Jurado de Tesis

**PIMENTEL**

**2019**

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por darme la vida y permitir la realización de la presente tesis.*

*A mis padres, por ser el pilar fundamental en mi formación profesional.*

*A mi hermana Ana María, por brindarme su apoyo incondicional durante el periodo de estudios.*

***Manuel E. Zapata Vigil.***

*A mi madre, por sus consejos, comprensión, por su apoyo incondicional en los momentos difíciles, por brindarme los recursos necesarios para estudiar, por inculcar en mi los valores, principios, carácter y coraje para lograr mis objetivos.*

***Miguel Alberto Hernández Gil.***

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestro asesor Dr. Jorge Olortegui Yume, por compartir su conocimiento y ser guía en la elaboración de la presente tesis.

A nuestros docentes de la Universidad Señor de Sipan, por sus enseñanzas brindadas durante nuestra formación profesional.

A nuestros padres y hermanos, por su apoyo incondicional, por sus consejos brindados durante nuestra formación y la confianza depositada en cada uno de nosotros.

# DISEÑO DE UN BIODIGESTOR CON ESTIERCOL DE GANADO VACUNO, PARA EL CASERIO LA ZANJA – CAJAMARCA.

Manuel E. Zapata Vigil <sup>(1)</sup>

Miguel A. Hernández Gil <sup>(2)</sup>

## Resumen

*En el presente trabajo de investigación se diseñó un biodigestor para generar energía a partir de la producción de biogás para el caserío la Zanja – Cajamarca.*

*En la actualidad, el caserío la Zanja sufre deficiencias eléctricas por causa del mal tiempo, provocando cortes de servicio eléctrico prolongados perjudicando a los pobladores del caserío. La problemática fue identificada mediante la aplicación de encuestas a los pobladores, lográndose extraer información valiosa para el diseño del biodigestor, tales como, el consumo eléctrico, el número de cabezas de ganado, la cantidad de estiércol producido, etc. Se realizó la búsqueda de información a nivel nacional y mundial de normas, códigos y estándares de diseño, determinándose que existe poca información sobre el diseño de tanques biodigestores, por lo que se sugirió recabar información de recomendaciones de diseño realizadas. Luego, se generaron 6 conceptos con gran potencial que podrían servir como solución, los conceptos fueron evaluados mediante una matriz de selección para obtener el concepto ganador, el concepto ganador fue el tanque digestor vertical, de tapa toriesférica con fondo tronco cónico, mediante la aplicación de una GUI se logró parametrizar el biodigestor, calculando el volumen total del biodigestor, siendo este de 12.4 m<sup>3</sup>, divididos entre la cúpula de almacenamiento de 3.1 m<sup>3</sup> y cámara de fermentación de 9.1 m<sup>3</sup>, la funcionalidad del biodigestor es continua, por lo tanto necesitaría aproximadamente 78 Kg de estiércol diario para producir biogás suficiente para suplir la necesidad energética de la población de 18.59 kWh/día, se considera conveniente que el estiércol se mezcle con agua en la proporción 1:1 y tiempo de fermentación de la materia de 20 días. Finalmente, se realizó la simulación de la estructura para determinar el factor de seguridad, fatiga y deformación, seguidamente la selección de materiales, la elaboración de planos y el análisis de costos del equipo.*

**Palabras claves:** Biodigestor, biogás, cámara de fermentación, cúpula, factor de seguridad.

---

<sup>1</sup>Adscrito a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email: [zvigil@crece.uss.edu.pe](mailto:zvigil@crece.uss.edu.pe)

<sup>2</sup>Adscrito a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email: [hgilmalb@crece.uss.edu.pe](mailto:hgilmalb@crece.uss.edu.pe)

# DESIGN OF A BIODIGESTER WITH CATTLE MANURE, FOR THE ZANJA-CAJAMARCA HAMLET.

Manuel E. Zapata Vigil <sup>(1)</sup>

Miguel A. Hernández Gil <sup>(2)</sup>

## Abstract

*In this research work, a biodigester was designed to produce electricity for the Zanja - Cajamarca.*

*At present, the farm Zanja suffers from electrical deficiencies due to bad weather, which causes prolonged power cuts, which harms the inhabitants of the city. The problem was identified by applying surveys to the inhabitants, extracting valuable information for the design of the biodigester, such as the consumption of electricity, the amount of livestock, the amount of manure produced, etc. The search for information was carried out at the national level and a global level of standards, codes and design standards, which determined that there is little information on the design of biodigester tanks, so it was suggested to collect information on the recommendations of design made. Then, 6 concepts were generated, with great potential to serve as a solution, the concepts were evaluated through a selection matrix to obtain the winning concept, the winning concept was the vertical digester tank, with a torispheric lid with a frustroconical bottom, Through the application of GUI, the biodigester was parameterized, calculating the total volume of the biodigester, which is 12.4 m<sup>3</sup>, divided between the storage dome of 3.1 m<sup>3</sup> and 9.1 m<sup>3</sup> of the fermentation chamber, the functionality of the biodigestores is continuous, so it is necessary to approximately 78 kg of manure per day to produce enough biogas to meet the energy needs of the population of 18.59 kWh / day, it is considered convenient to mix the manure with water in the ratio 1: 1 and the fermentation time of the material 20 days. Finally, the simulation of the structure was carried out to determine the safety factor, fatigue and deformation, the selection of materials, the planning of the plans and the cost analysis of the equipment.*

***Keywords: Biodigester, biogás, fermentation chamber, dome, security factor.***

---

<sup>1</sup>Adscrito a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email: [zvigil@crece.uss.edu.pe](mailto:zvigil@crece.uss.edu.pe)

<sup>2</sup>Adscrito a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email: [hgilmalb@crece.uss.edu.pe](mailto:hgilmalb@crece.uss.edu.pe)

## Índice

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>IV</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VI</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2. ANTECEDENTES DE ESTUDIO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3. BASES TEÓRICAS.....</b>	<b>19</b>
<b>1.3.1. Estado del Arte. ....</b>	<b>19</b>
<b>1.3.2. Biodigestor .....</b>	<b>19</b>
<b>1.3.3. Clasificación de biodigestores .....</b>	<b>19</b>
<b>1.3.4. Tipos de Biodigestores. ....</b>	<b>21</b>
<b>1.3.5. Partes del Biodigestor .....</b>	<b>23</b>
<b>1.3.6. Procesos de digestión del estiércol. ....</b>	<b>23</b>
<b>1.3.7. Condiciones Ambientales en el Reactor. ....</b>	<b>24</b>
<b>1.3.8. Procesos de fermentación del estiércol.....</b>	<b>26</b>
<b>1.3.9. Biogás .....</b>	<b>29</b>
<b>1.3.10. Diseño de biodigestores. ....</b>	<b>30</b>
<b>1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>42</b>
<b>1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA. ....</b>	<b>42</b>
<b>1.5.1. Técnica. ....</b>	<b>42</b>
<b>1.5.2. Económica.....</b>	<b>42</b>
<b>1.5.3. Ambiental.....</b>	<b>42</b>
<b>1.5.4. Social.....</b>	<b>42</b>
<b>1.6. OBJETIVOS .....</b>	<b>42</b>
<b>1.6.1. Objetivo General. ....</b>	<b>42</b>
<b>1.6.2. Objetivos Específicos. ....</b>	<b>43</b>
<b>II. MATERIAL Y METODO.....</b>	<b>45</b>
<b>2.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>45</b>
<b>2.1.1. Tipo de Investigación .....</b>	<b>45</b>

2.1.2. Diseño de Investigación.....	45
2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	45
2.3. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN.....	45
2.3.1. Variables Independientes: .....	45
2.3.2. Variables Dependientes: .....	45
2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	48
2.4.1. Técnicas de Recolección de datos.....	48
2.4.2. Instrumentos de Recolección de Datos. ....	49
2.4.3. Análisis Estadísticos de los Datos.....	50
2.5. PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS.....	50
2.6. CRITERIOS ÉTICOS. ....	53
2.7. CRITERIOS DE RIGOR CIENTÍFICO.....	53
<b>III. RESULTADOS.....</b>	<b>56</b>
3.1. CONSUMO ENERGÉTICO DE LA POBLACIÓN. ....	56
3.1.1. Resultados de la Encuesta a los Pobladores del Caserío la Zanja. ....	56
3.1.2. Estimación del Consumo Energético del Caserío la Zanja. ....	59
3.2. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS ÓPTIMA DE DISEÑO.....	61
3.2.1. Recomendaciones de Diseño para el Biodigestor de Estiércol Vacuno. ....	61
3.2.2. Hoja de Especificaciones de Ingeniería. ....	61
3.2.3. Diseño Conceptual del Biodigestor. ....	66
3.2.4. Diseño de la configuración alternativa.....	75
3.3. DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR. ....	79
3.3.1. Procedimiento de Cálculo del Dimensionamiento del Biodigestor. ....	79
3.3.2. Seleccionar los materiales para la construcción.....	82
3.3.3. Diseño paramétrico del agitador.....	84
3.3.4. Diseño paramétrico del eje .....	85
3.3.5. Simulación del eje en ANSYS.....	87
3.3.6. Realizar la simulación de estructura del biodigestor. ....	91
3.3.7. Realizar el diseño de selección de las partes estándar del equipo.....	94
3.3.8. Realizar el diseño de detalle. ....	96
3.4. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	99
3.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	103

<b>IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>107</b>
<b>4.1. CONCLUSIONES .....</b>	<b>107</b>
<b>4.2. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>108</b>
<b>V. REFERENCIAS .....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>114</b>

# **CAPITULO I**

# **INTRODUCCIÓN**

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad Problemática.**

Los combustibles fósiles son la principal causa del cambio climático. Existe un grave riesgo de que a finales del siglo la temperatura mundial aumente entre 4°C y 6°C, un aumento de esta magnitud podría exponer a 400 millones de personas de algunos países más pobres del mundo en peligro de padecer una grave escasez de alimentos y agua a mediados del siglo. Gobiernos de todo el mundo están empezando a enfrentarse a esta realidad. Por ejemplo, Alemania, el 31% de la producción eléctrica durante la primera mitad del 2014 provenían de fuentes renovables, ese mismo año el uso de energías alternativas produjeron más de la mitad de la electricidad total del país durante unas horas al día. Según para el año 2020 las fuentes de energías renovables podrían producir el 50% de la electricidad del país, haciendo perder dinero a nueve de cada diez centrales europeas de gas y carbón (OXFAM, 2014).

En la década de los 70, Ecuador impulso el uso de Biodigestores junto con la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). En el año 1979, se creó el Instituto Nacional de Energía (INE), desarrollando el programa nacional de capacitación y difusión sobre tecnología de biodigestores, en 1980 iniciaron sus investigaciones en las provincias de Guayas, Manabi y Chimborazo, después de varios años de construcción e investigación, instalaron 65 biodigestores siendo la mayoría tipo hindú y del cual solo el 35 por ciento están en funcionamiento, siendo unos de sus mayores problemas el financiamiento de mantenimiento. Para los años 2010 al 2012, las escuelas de revolución agraria, capacitan a productores, con la finalidad de implementar biodigestores con autofinanciamiento (MAE, 2015).

En la ciudad de Tacna, Perú, en la década de los 90', era muy usual la construcción de biodigestores siguiendo un modelo chino, los cuales eran alimentados por excretas de ganado bovino. Aquellos biodigestores estuvieron en funcionamiento alrededor de tres años, actualmente se encuentran destruidos o abandonados por sus respectivos usuarios por diferentes razones, siendo el problema más común la baja rentabilidad del negocio pecuario el cual ha sido reemplazado por la agricultura, además, la falta de personal que se dedique al manejo y mantenimiento del biodigestor (Salazar et al., 2012).

En el departamento de Cajamarca a finales de los años 70 y principios de los 80 el Instituto de Investigación Tecnológica Industrial de Normas Técnicas (ITINTEC) empezó con la investigación y promoción de biodigestores familiares de domo fijo basándose principalmente en los modelos chino e hindú. A esta iniciativa se unió la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC) de las cuales destacaron dos proyectos ejecutados. Lamentablemente los biodigestores instalados por la UNC durante esta época, solo uno se encuentra en funcionamiento, debido a que no se tuvo en cuenta a las necesidades de los pobladores. En el 2007 Soluciones Prácticas comenzó a instalar biodigestores tubulares de polietileno. Poco tiempo después fueron cambiados por geomembrana, debido a la mala calidad del polietileno comercializado, lo que hacía que el tiempo de vida de los biodigestores disminuya (SNV, 2013).

El caserío La Zanja está ubicado en la zona alta de la quebrada El Cedro, sobre los 3200 m.s.n.m en el distrito de Pulan, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca, tiene una población pequeña y muy joven, que consta de aproximadamente 100 pobladores en edad promedio de 30 años dedicada a la minería; sin embargo, hay una importante población adulta que trabaja exclusivamente en la actividad agropecuaria como economía de autosustento (Compañía minera Buenaventura, 2013). Una de las principales actividades económicas desarrolladas en el caserío, es la ganadería, la crianza de vacas, cumple una función primordial en la producción de leche y es de buen aporte para el comercio y en la producción de productos derivados de la misma.

La Zanja cuenta en promedio con una población vacuna de 461 vacas las cuales producen en promedio 5836.5 kg de estiércol diario de los cuales 300 kg se usan para abono de cultivos. El resto de estiércol queda sobre el terreno produciendo mal olor y contaminando el ambiente debido al metano y óxido nitroso producido (*Ver Figura 1*). La población de la localidad, cuenta con servicio eléctrico por parte de la ccesionaria Hidrandina, pero el servicio eléctrico no es constante debido a la ubicación geográfica y las tormentas eléctricas repentinas. Esto se manifiesta en días enteros sin servicio eléctrico o parcial de 3-4 horas diarias (*Ver Figura 2*). La población continuamente tiene que recurrir al uso de moto-generadores para compensar estas fallas. Es evidente que la presencia de una central de producción de biogás a partir del estiércol desperdiciado sería una buena opción para generar energía eléctrica reduciendo el

gasto de cada unidad familiar del caserío en conjunto y *que* beneficiaría a las familias que aún no cuentan con el servicio eléctrico.



**Figura 1.** Estiércol de ganado vacuno desperdiciado en los campos de pastoreo.

**Fuente:** Propia



**Figura 2.** Deficiencia en el servicio eléctrico.

**Fuente:** Propia

## 1.2. Antecedentes de Estudio.

Los trabajos que preceden de la presente tesis se detallan a continuación:

Mukumba, Makaka, Mamphweli & Misi (Mukumba et al., 2013), realizaron el análisis técnico-económico de la producción de biogás en la escuela adventista Nyazura en Rusape, Zimbabwe. Para producir biogás, se consideró la excreta humana, de vaca y pollos con capacidades de producir  $18 \text{ m}^3$ ,  $28 \text{ m}^3$  y  $4 \text{ m}^3$  de biogás al día. Los autores diseñaron biodigestores para cada tipo de estiércol, seleccionando el modelo de domo fijo, por su capacidad de desplazar los sedimentos. Para determinar el volumen de cada biodigestor, tuvieron en cuenta la relación de mezcla estiércol-agua y el tiempo de retención, las relaciones de mezcla son 1:1.5 para las excretas humanas, 1:1 para las excretas de vaca y 1:5 para las excretas de pollo. El tiempo de retención para el excreto humano es de 40 días, mientras que para las excretas de vaca y pollo es de 50 días. Con los datos mencionados se calcularon los volúmenes de los biodigestores, siendo estos de  $50 \text{ m}^3$ ,  $37 \text{ m}^3$  y  $27 \text{ m}^3$  respectivamente. Se consideró sistemas intercambiadores de calor en la parte inferior, proporcionando una temperatura de  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ , a partir de agua de refrigeración de un motor a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ , transportados por tubos de cobre y agitadores para obtener una mezcla homogénea. Los autores concluyeron que al día se puede producir  $50 \text{ m}^3$  de biogás, siendo proporcional a  $450 \text{ KW.h/día}$  esto equivaldría al 16% de la demanda energética total. Económicamente el proyecto es factible ahorrando \$ 6 845 al año, recuperando la inversión en un año. La estimación de tiempo de vida del biodigestor es de 5 años.

Kaur, Kumar & Kumar S. (Kaur et al., 2017), realizaron un modelo matemático que sirviese para modificar el diseño del biodigestor de domo fijo en escala pequeña haciendo que este opere en condiciones termofílicas ( $50 \sim 55 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Se utilizó como materia prima paja de arroz fermentado de 1 mm de diámetro, en el diseño del biodigestor se consideró un sistema de agitación para la mezcla de la biomasa con el agua, optaron por mezclar la biomasa con agua caliente para mantener las condiciones termofílicas en el interior del biodigestor, siendo relación de mezcla 1:10 de biomasa – agua, se calculó el volumen de la cámara de fermentación y el volumen de la cúpula de almacenamiento de biogás. El tiempo de retención hidráulico fue de 23 días debido

a la variación de temperatura de 50°C a 54°C, produciéndose 0.484 m<sup>3</sup>/Kg de biomasa. Los autores de la investigación concluyeron que el modelo matemático empleado sirve para diseñar biodigestores a mayor escala. Operando en condiciones termofílicas, mejora la eficiencia de producir biogás en comparación de la temperatura mesofílica, el agitador ahorraría dinero evitando gastos por pretratamiento de materia.

Ezekoye & Okeke (Ezekoye & Okeke, 2016), diseñaron y construyeron un biodigestor en el departamento de ciencias de la universidad de Nigeria, usando un cilindro plástico con capacidad de 300 gal. El propósito del estudio fue producir biogás usando granos de arroz desgastados y su cascara, mezclaron 48 Kg de grano de arroz y 48 Kg de cascara, en 222 litros de agua, en relación de mezcla 1:3, el biodigestor comenzó a producir biogás a partir del día 8 sin tener resultados positivos de inflamabilidad, al día 20 de fermentación el biogás ya era inflamable. Los parámetros de pH, temperatura y presión fueron monitoreados durante 33 semanas, los valores de pH se mantuvieron en el rango de 5.93 y 7.73, el tanque biodigestor opero en temperatura mesofílica de 20 a 45 °C, la presión se mantuvo en 0.25 bar. La producción de biogás alcanzó su valor máximo de 150 litros en el día 47. El biogás obtenido se almaceno en cilindros durante 60 días, fue utilizado para la cocción de alimentos, siendo capaz de calentar 6.6 litros de agua en 30 min. Los autores determinaron que la cascara de arroz enriquece a las bacterias y mejora su acción sobre el sustrato y por cuanto se obtiene mayor producción y calidad de biogás, el diseño del biodigestor es flexible, económico y fácil de transportar, sería de gran ayuda a las familias de las zonas rurales de Nigeria, que abarca el 80% de la población del país.

Campos (Campos, 2011) elaboro un modelo matemático para calcular los parámetros de diseño de biodigestores de cúpula fija para el sector campesino de Cuba. Según la metodología elaborada, el problema de diseño de las plantas de biogás está en calcular el volumen del biodigestor, el volumen de la cámara de fermentación, el volumen de la campana, volumen de la carga diaria y el tiempo de retención del estiércol. Se empleó la metodología empleando diferentes volúmenes de carga obteniéndose siguientes resultados, el volumen del biodigestor está en relación con la carga diaria de estiércol y agua, considerando la relación de mezcla 1:1 de estiércol de

vaca-agua, la cámara de fermentación constituye entre el 75% y 80% del volumen del biodigestor, el volumen de la cúpula está en el rango del 20% y 25% y el tiempo de retención varía según al tipo de estiércol que se utilizaría como materia prima, para excretas de vaca considera 25 días de retención. El autor afirma que la metodología facilita el análisis y cálculo de los parámetros de la construcción de biodigestores de cúpula fija siendo una herramienta muy útil en el proceso de diseño, además, indica que para el uso de iluminación y cocción de alimentos el volumen de la cúpula debe almacenar el 60% de la producción diaria de biogás.

Mantilla, Duque & Galeano (Mantilla et al., 2007) realizaron el diseño y evaluación económica preliminar de una planta productora de biogás usando las excretas de ganado vacuno para satisfacer de electricidad a una instalación agropecuaria de 1500 empleados en Colombia. El diseño abarca el dimensionamiento de los establos para el ganado, los sistemas de recolección, transporte y mezcla del estiércol, el tanque de efluente y el sistema de tratamiento de biogás. La planta diseñada permitiría procesar el estiércol de 1300 reses, siendo este de  $0.053 \text{ m}^3/\text{día}$  de estiércol por vaca, el biodigestor diseñado es del tipo *Plug-flow*, incluye un intercambiador de calor, que utiliza el agua de refrigeración de un motor a temperatura de  $94 \text{ }^\circ\text{C}$  para mantener la temperatura de la mezcla a  $37.5^\circ\text{C}$  y tiempo de retención de 20 días. El análisis económico del proyecto requiere una inversión de 4,000 millones de pesos colombianos, aproximadamente 1.480.000.00 USD. Los autores concluyen expresando que el proyecto propuesto es factible, debido que permitiría recuperar la inversión en el periodo de 7 años, estimándose el tiempo de vida de la planta en 15 años, la planta tendría la capacidad de producir  $2440 \text{ m}^3$  de biogás por día, permitiendo generar 500 KW.h de energía eléctrica satisfaciendo las necesidades energéticas de la planta.

Mago, Sosa, Flores & Tovar (Mago et al., 2014), propusieron el diseño de un biodigestor haciendo uso del programa BioDigester<sup>®</sup>, dicho proyecto estuvo enfocado en potencializar el sistema eléctrico en las zonas pecuarias de Venezuela. Se estableció el diseño de la planta generadora de potencia eléctrica como prototipo, indicando la posibilidad de generar  $1\ 331\ 996.87 \text{ KW}\cdot\text{h/año}$  suficiente para abastecer de energía

eléctrica al estado de Guárico. Las dimensiones del biodigestor fueron calculadas mediante la aplicación, el volumen necesario del biodigestor para que pueda almacenar las excretas de alrededor de 2000 reses es de 2 714.06 m<sup>3</sup>, por factores de manejo de residuos, se recomendó la utilización de dos biodigestores de 1 357.03 m<sup>3</sup>, 26 días de retención hidráulica y la relación de agua estiércol de 1:1. En conclusión, con los resultados obtenidos demuestran ser una buena opción de generar energía eléctrica al estado de Guárico, debido a que su potencial es bajo para producir energía eólica y solar, ayudando a reducir contaminación por residuos sólidos.

García, Alamo & Marcelo (García et al., 2017), diseñaron un biodigestor tipo Taiwanés, aprovechando las excretas del ganado vacuno, ovino y porcino de las zonas rurales de la región Piura. Como uno de los factores importantes, se estimó la temperatura en referencia del tipo de región, presentando temperaturas de 13°C hasta 38°C, consideraron una inclinación en la zanja de 2 a 3 grados para mayor fluidez de la mezcla, la cantidad de estiércol fresco diario producido fue calculada según al peso de cada animal, por ejemplo, cada 100 Kg de peso del animal, está puede producir de 8.4 a 4 Kg de estiércol, la mezcla de sólidos totales-agua que ingresa al biodigestor debe ser mínimo de 8%, se considera que las porciones de materia seca varía de 13% al 25%, el porcentaje de sólidos volátiles varía entre el 75% y 82% respecto a los sólidos totales. Se estima una producción de biogás, teniendo en cuenta el rango de temperaturas en Piura de 0.30 m<sup>3</sup>/Kg y 30 días de retención de sólidos, obteniendo 8 m<sup>3</sup> de biogás capaces de satisfacer a una familia de 6 personas. El biodigestor tubular de plástico es una inversión rentable para una familia, siempre y cuando se utilice no solo el biogás sino también en el biol como fertilizante orgánico, en reemplazo de fertilizantes químicos comerciales. La inversión resulta más rentable para aquellas familias que utilicen el biol para fertilizar cultivos como el arroz o el maíz.

Obando (Obando, 2009), construyó y analizó el comportamiento de tres biodigestores con diferentes regímenes de operación, utilizando cilindros metálicos de 55 galos de capacidad. El primer biodigestor, se montó un intercambiador de calor de tubo de acero Schedule 40 de 2" de diámetro, se utilizó agua como flujo de calor, el cual era calentado con una resistencia de 4500 vatios y un sistema de agitación

conformado por una bomba centrífuga trifásica de 60 litros por minuto. El segundo biodigestor se instaló un sistema de agitación mecánico central, con operación manual, conformado por dos carretes y aletas de acero galvanizado asegurados de un tubo de acero SAE 1020 de 2" de diámetro. El tercer biodigestor no se implementó agitador ni intercambiador de calor. Para registrar el biogás producido en cada biodigestor, se construyó un medidor de campana flotante, elaborada de dos cilindros de 105 y 220 lts, se cargó el biodigestor de agua y estiércol en una proporción de 3:4. A los 21 días de operación los resultados mostraron mayor producción de biogás en el primer biodigestor, alcanzando los 40 lts/día, respecto a los 29 y 18 lts/día del segundo y tercer biodigestor. La investigación concluye indicando que el calentamiento de la materia y la agitación reducen el tiempo de retención de sólidos, mejorando la eficiencia de producción de biogás. Se recomienda el sistema de agitación del segundo biodigestor, implementado de un motor que ayude a la homogenización de la materia, dicho diseño no genera espuma.

Almanza (Almanza, 2011) evaluó el funcionamiento de un biodigestor de 6 m<sup>3</sup> modelo chino mejorado en el distrito de Yaurisque, Cusco, a 3340 m.s.n.m, se instaló aislamiento en el suelo y paredes para evitar pérdidas de calor por conducción, utilizó ladrillo cocido como material de mampostería, con refuerzo de fierro corrugado de 1/8", para evitar grietas. El biodigestor fue construido bajo un invernadero para incrementar la temperatura del lodo, la materia orgánica que se empleó es estiércol de cabras, ovejas, cuyes y conejos, mezclado con agua a 80°C, haciendo que se mantenga el lodo a 17.2°C, en el interior del invernadero la temperatura se mantuvo a 20.75°C y temperatura ambiente de 12.5°C. El tiempo de retención de sólidos mejoro debido a la estabilidad de la temperatura del lodo. Se estimó que la producción anual de biogás es de 193.45 m<sup>3</sup>, obteniéndose 0.53 m<sup>3</sup> diario y 10 litros de biol diario. El proyecto da un diagnostico viable aun siendo la inversión inicial alta, el biogás producido será utilizado en la cocción de alimentos y el biol como abono en los campos de cultivo, el estudio económico realizado indica que el costo invertido es recuperable en el periodo de 4 a 5 años, debido a que el tiempo de vida del biodigestor es calculado en 20 años.

### 1.3. Bases Teóricas.

#### 1.3.1. Estado del Arte.

##### 1.3.1.1. Biodigestor Modular BDM.

Son biodigestores diseñados y fabricados por EPHEUSUS, pensados para trabajar con efluentes orgánicos (excretas de cerdos, pollos, etc.), mejoran la eficiencia de producir biogás, controlando la temperatura y agitación, permite producir energía térmica y/o eléctrica de forma constante y estable, su estructura flexible hace de estos biodigestores sean fácil de transportar y armar. En la *Figura 3*, se muestra la imagen de un biodigestor modular BDM. (Brochure Ephesus, 2017).



*Figura 3.* Biodigestor Modular BDM 25/2017.

*Fuente:* Brochure Ephesus BDM.

#### 1.3.2. Biodigestor

Un biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar éste en biogás y fertilizante (Martí, 2008).

#### 1.3.3. Clasificación de biodigestores

Los biodigestores se clasifican de acuerdo a su complejidad y utilización, según su modo de operación con relación a su alimentación o carga en los siguientes tipos:

### ***1.3.3.1. Sistemas batch o discontinuos***

Los digestores del tipo Batch, se cargan con las materias primas en un solo lote. Después de un cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae, se vacían los digestores por completo y se alimentan de nuevo dando inicio a un nuevo proceso de fermentación.

### ***1.3.3.2. Sistemas semicontinuos.***

Cuando la primera carga que se introduce al digestor consta de una gran cantidad de materias primas. Posteriormente, se agregan volúmenes de nuevas cargas, calculados en función del tiempo de retención hidráulico (TRH) y del volumen total del digestor. Se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad del afluente que se incorporó. Este proceso es usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico.

### ***1.3.3.3. Sistemas Continuos***

Cuando la alimentación del digestor es un proceso ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al afluente o material de carga, con producciones de biogás, uniformes en el tiempo. Son utilizados principalmente para el tratamiento de aguas negras. Corresponde a plantas de gran capacidad, tipo industrial, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación, así como para su control. En la *figura 4*, se muestra la imagen de un biodigestor del tipo continuo.



***Figura 4.*** Planta de biogás, sistemas continuos.

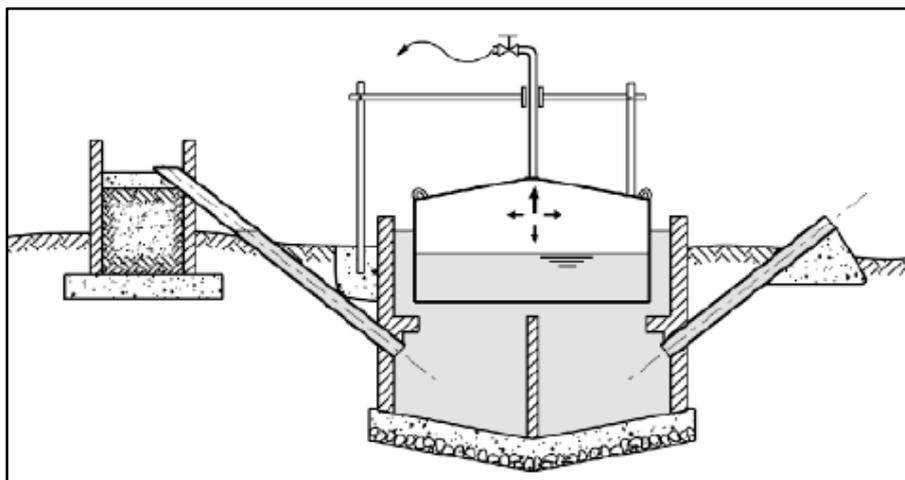
***Fuente:*** Biogas.es

### 1.3.4. Tipos de Biodigestores.

En la actualidad existen diversos tipos de biodigestores, los más usados son del tipo indio o también conocido de domo flotante, el tipo chino o de domo fijo y el tipo tubular o estructura flexible que consiste en una bolsa alargada.

#### 1.3.4.1. Modelo Hindú

Este tipo de digestor, posee una cámara de digestión de forma cilíndrica sobre la cual flota la campana gasométrica generalmente construida en hierro. La salida del efluente se efectúa por rebalse, funciona en forma continua realizándose por lo general una carga diaria o cada dos o tres días. El vaciado completo sólo se realiza en el caso de requerir alguna reparación o limpieza. El gas gracias al gasómetro flotante se almacena a presión constante y volumen variable. Este digestor demanda un mayor gasto de materiales y la campana gasométrica es generalmente lo más caro del equipo. En la *Figura 5*, se aprecia el modelo biodigestor tipo hindú y sus respectivas partes.



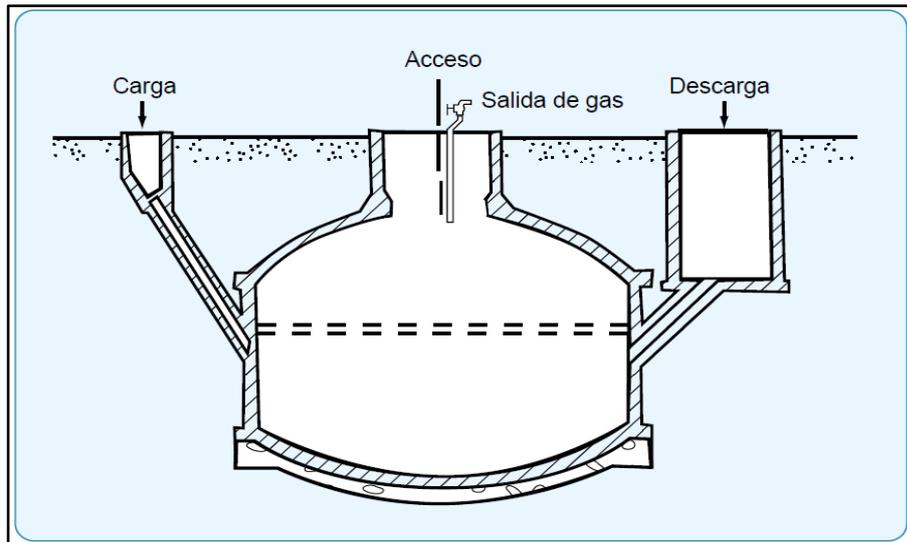
*Figura 5.* Biodigestor tipo hindú.

*Fuente:* Guardado, 2007.

#### 1.3.4.2. Modelo Chino

Los biodigestores de este tipo son tanques cilíndricos con el techo y piso en forma de domo. Al iniciar el proceso, el digestor se llena con residuos agrícolas mezclados con lodos activos de otro digestor, a través de la cubierta superior, que es removible. Una vez cargado así, es alimentado diariamente con los residuos que se encuentren disponibles, provenientes de la letrina y de los animales domésticos,

a través del tubo de carga el cual llega a la parte media del digestor. En la *Figura 6*, se observa el modelo biodigestor tipo chino y las partes del mismo.

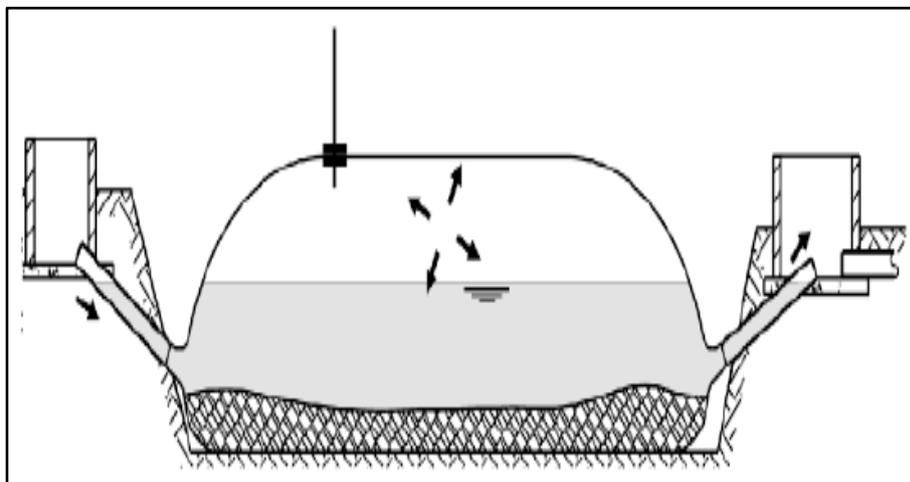


**Figura 6.** Biodigestor tipo chino.

**Fuente:** FAO, 2011.

#### **1.3.4.3. Modelo Tubular**

Consiste en un cilindro hecho de una membrana impermeable a los gases y líquidos (Nylon, caucho, PVC, polietileno, neopreno), instalado en forma horizontal en una fosa excavada en el suelo. Este modelo trabaja con presiones muy bajas, no funciona con residuos orgánicos fibrosos y la duración es de 5 a 10 años. Es el modelo no es muy costo construirlo. En la *Figura 7*, presenta al biodigestor tipo tubular.



**Figura 7.** Biodigestor de estructura flexible o tubular.

**Fuente:** Guardado, 2007.



residuos vegetales, animales, efluentes de la industria alimentaria, fermentativa, y de la industria papelera en subproductos útiles.

### **1.3.7. Condiciones Ambientales en el Reactor.**

#### **1.3.7.1. Oxígeno**

Las arqueas metanogénicas se encuentran entre los organismos vivientes más antiguos del planeta ya que aparecieron hace 3 a 4 mil millones de años, hoy, por lo tanto, estos microorganismos siguen dependiendo de un ambiente carente de oxígeno. Sin embargo, como regla general es imposible impedir completamente la introducción de oxígeno en el digestor. La razón por la que la actividad de las arqueas metanogénicas no se inhibe inmediatamente o el por qué, en el peor de los casos, no mueren todas, es que coexisten con bacterias que consumen oxígeno de las etapas precedentes de la degradación. Algunas de ellas son lo que se conoce como bacterias anaeróbicas facultativas. Éstas son capaces de sobrevivir tanto bajo la influencia del oxígeno como completamente sin oxígeno. Siempre y cuando la carga de oxígeno no sea demasiado alta, consumen el oxígeno antes de que dañe a las arqueas metanogénicas que dependen de un entorno totalmente libre de oxígeno.

#### **1.3.7.2. Temperatura**

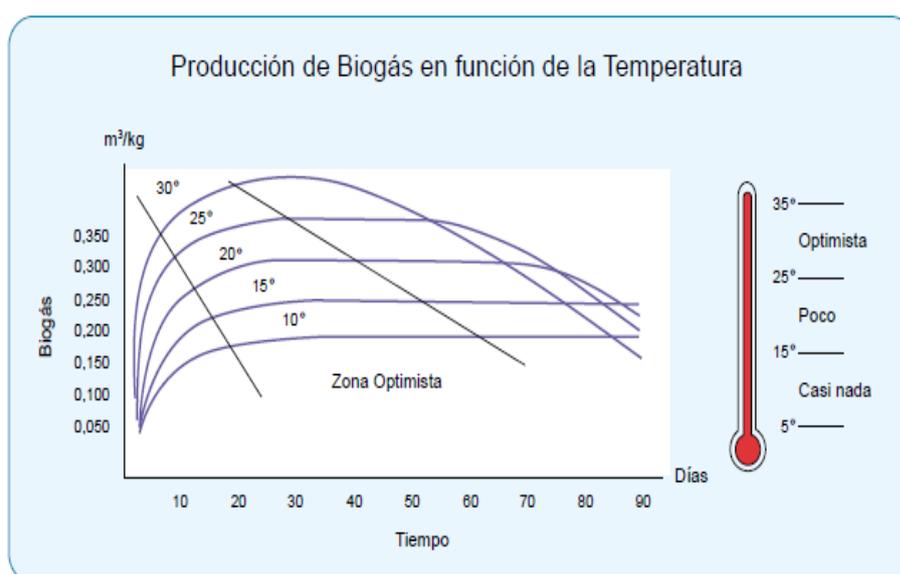
Los procesos anaeróbicos, al igual que muchos otros sistemas biológicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayores producciones de biogás. La temperatura de operación del digestor, es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica. Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden gatillar la desestabilización del proceso. Por ello, para garantizar una temperatura homogénea en el digestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura. Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos, en la *figura 9* muestran los rangos de operación en biodigestores según la temperatura.

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psycrophilica	4-10 °C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20 °C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

**Figura 9.** Rangos de temperatura.

**Fuente:** FAO, 2011.

Hasta el momento, el rango psicrófilico ha sido poco estudiado y, en general, se plantea como poco viable debido al gran tamaño del reactor necesario. Sin embargo, presenta menores problemas de estabilidad que en los otros rangos de temperatura de operación. El régimen mesofílica de operación es el más utilizado, a pesar de que en la actualidad se está implementando cada vez más el rango termofílica, para conseguir una mayor velocidad del proceso, lo que implica a la vez un aumento en la eliminación de organismos patógenos. Sin embargo, el régimen termofílica suele ser más inestable a cualquier cambio de las condiciones de operación y presenta además mayores problemas de inhibición del proceso por la mayor toxicidad de determinados compuestos a elevadas temperaturas, como el nitrógeno amoniacal o los ácidos grasos de cadena larga. En la *Figura 10*, se observa la producción de biogás respecto al tiempo, siendo este más óptimo cuando el rango de temperatura está entre 25°C y 35°C.

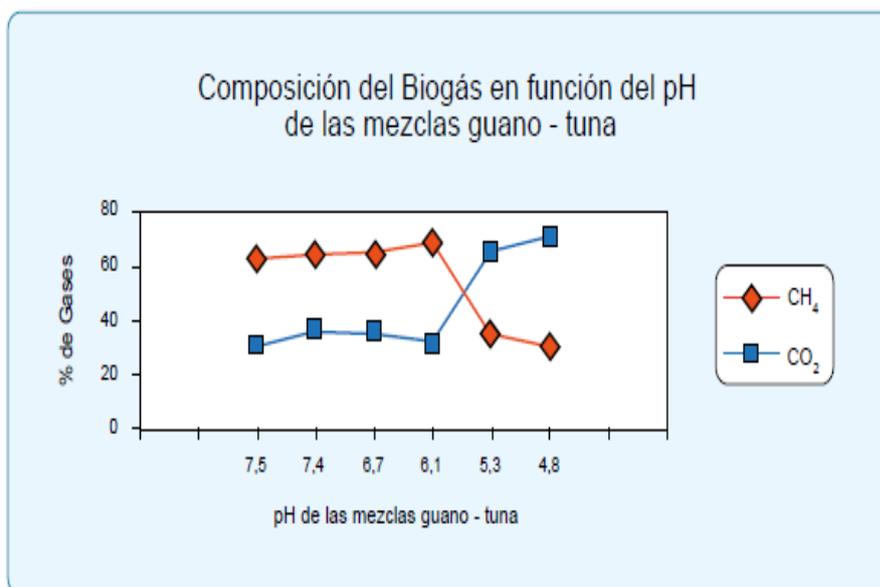


**Figura 10.** Producción de biogás en función de la temperatura.

**Fuente:** FAO, 2011.

### 1.3.7.3. Valor de pH

Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaeróbica presentan unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad. El óptimo es entre 5.5 y 6.5 para acidogénicos y entre 7.8 y 8.2 para metanogénicos. El pH óptimo para cultivos mixtos se encuentra en el rango entre 6.8 y 7.4, siendo el pH neutro el ideal. Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6.0 ni subir de 8.0. El valor del pH en el digestor no sólo determina la producción de biogás sino también su composición. Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del pH a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano y, por tanto, tiene menores cualidades energéticas. En la *Figura 11*, muestra la composición del biogás en función del pH.



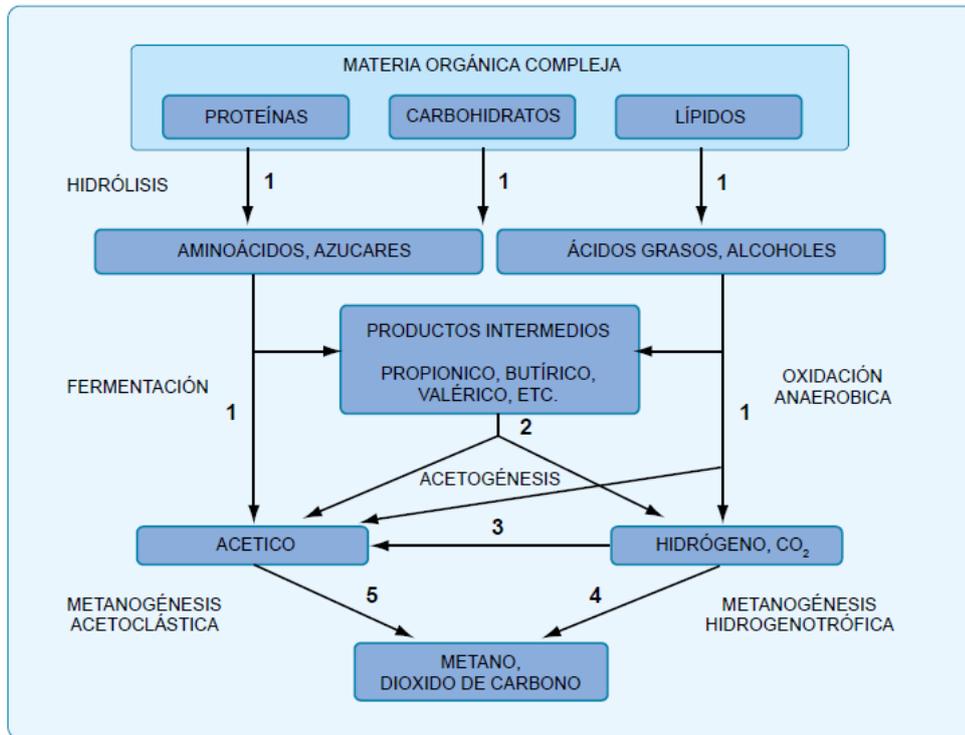
**Figura 11.** Producción de biogás en función del pH.

**Fuente:** FAO, 2011.

### 1.3.8. Procesos de fermentación del estiércol

La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea. Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas, los procesos de fermentación del estiércol se muestran en la *Figura 12*.

1. Hidrólisis
2. Etapa fermentativa o acidogénica
3. Etapa acetogénica
4. Etapa metanogénica



**Figura 12.** Reacciones de la digestión anaeróbica: 1. Bacterias fermentativas, 2. Bacterias acetogénicas, 3. Bacterias homoacetogénicas, 4. Bacterias metanogénicas, 5. Bacterias metanogénicas acetoclásticas.

**Fuente:** FAO, 2011.

### 1.3.8.1. Hidrólisis

La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por tanto, es el proceso que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. Además, la hidrólisis depende de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulico, de la composición bioquímica del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del tamaño de partículas, del nivel de pH, de la concentración de NH<sub>4</sub>.

#### **1.3.8.2. Etapa fermentativa o acidogénesis.**

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H<sub>2</sub>) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema.

#### **1.3.8.3. Etapa acetogénesis.**

En esta etapa la formación de ácido acético, son producidas por bacterias acetogénicas (ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono). Contenido de hidrógeno excesivo impide la conversión de productos intermedios de la acidogénesis por razones relacionadas con la energía. En consecuencia, se acumulan los ácidos orgánicos, como el ácido propiónico, el ácido isovalérico y el ácido hexanoico, e inhiben la formación del metano. Por esta razón, las bacterias acetogénicas (bacterias que forman hidrógeno) deben coexistir en una comunidad biótica cerrada (biocenosis) con las arqueas que consumen hidrógeno, las cuales consumen hidrógeno junto con dióxido de carbono durante la formación de metano, asegurando así un ambiente aceptable para las bacterias acetogénicas.

#### **1.3.8.4. Etapa metanogénica**

En esta etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas, actúan sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de bio metanización. Se ha demostrado que un 70% del metano producido en los reactores anaeróbicos se forma a partir de la descarboxilación de ácido acético, a pesar de que, mientras todos los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el H<sub>2</sub> como aceptor de electrones.

### 1.3.9. Biogás

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable. El biogás tiene propiedades específicas que se indican en la *figura 13*, además de los valores de producción de biogás según el tipo de estiércol, estos datos se pueden observar en la *Figura 14*.

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

**Figura 13.** Características generales del biogás.

**Fuente:** FAO, 2011.

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

**Figura 14.** Producción de biogás.

**Fuente:** FAO, 2011.

### 1.3.10. Diseño de biodigestores.

Para realizar el dimensionamiento del biodigestor, primero se estimó el consumo energético de la población, después se empleó la metodología de diseño de parámetros constructivos de Campos (Campos, 2011).

#### 1.3.10.1. Estimación de la Necesidad Energética de la Población.

##### 1. Consumo Energético Diario

Los valores que se tuvieron en cuenta para realizar el cálculo del consumo energético fueron adquiridos de la sección 3.1, donde se detalla los datos de consumo energético de la población del caserío la Zanja. La secuencia de cálculo se detalla a continuación.

$$E_d = \frac{E}{30} \quad \dots (1)$$

Donde:

$E_d$ : Consumo Energético diario (kWh/día)

$E$ : Consumo Energético mensual (kWh/mes)

##### 2. Consumo Volumétrico de Biogás.

El consumo volumétrico de biogás, consiste en calcular la cantidad necesaria de biogás que necesitaríamos para generar energía eléctrica y satisfacer las necesidades de electricidad de la población. Para llevar a cabo el siguiente cálculo necesitamos saber los valores de consumo energético diario y la cantidad de producción de biogás por kilogramo de estiércol.

$$C = \frac{E_d}{P} \quad \dots (2)$$

Donde:

$C$ : Consumo Volumétrico de biogás (kWh/mes)

$P$ : Poder Energético (kW/m<sup>3</sup>)

### 1.3.10.2. Diseño del biodigestor.

#### 1. Volumen del digestor

Calculando la cantidad de materia orgánica que se puede recoger diariamente, se puede calcular el volumen del biodigestor “ $V_d$ ”, para ello se puede emplear la ecuación (3).

$$V_d = (Kg_{(excreta)} + Kg_{(agua)}) * T_r \quad \dots (3)$$

Donde:

$T_r$  : Tiempo de retención (Días)

$V_d$  : Volumen del biodigestor ( $m^3$ )

$Kg$  : Cantidad de estiércol ( $m^3$ )

#### 2. Volumen de la cúpula

Para calcular el volumen de la cúpula, se puede igualar con la ecuación (2).

$$V_c = C \quad \dots (4)$$

Una vez igualadas las expresiones, se puede calcular el volumen del biodigestor, debemos tener en cuenta que el volumen de la cúpula abarca el 25% del volumen total del biodigestor.

$$V_c = V_d * (0.25) \quad \dots (5)$$

Donde:

$V_c$ : Volumen de la cúpula ( $m^3$ )

#### 3. Volumen de la cámara de fermentación

$$V_{cf} = V_d * (0.75 \sim 0.80) \quad \dots (6)$$

Donde:

$V_{cf}$ : Volumen de la cámara de fermentación ( $m^3$ )

$V_d$ : Volumen del biodigestor ( $m^3$ )

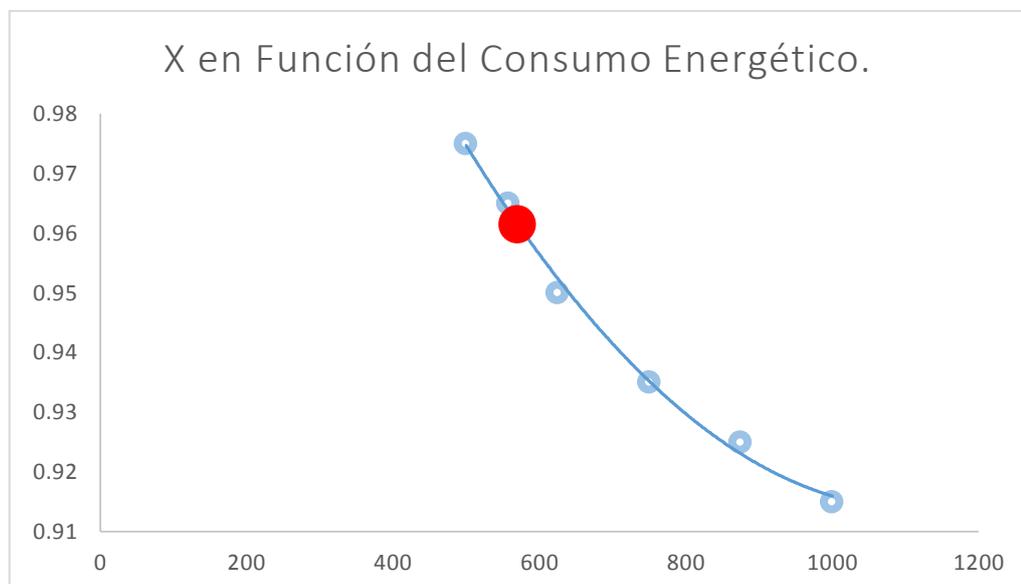
#### 4. Relación Diámetro-Altura de la Cámara de Fermentación.

Para determinar los parámetros de diámetro y altura de la cámara de fermentación “X” se tomaron varios valores de acuerdo al consumo energético, para el diseño del biodigestor, se consideró el valor más óptimo 0.96, la forma de cómo se obtiene este valor se explica en la *Sección 3.3*. La *Figura 15*, muestra la gráfica de “X” en función del consumo energético.

$$X = \frac{D_{cf}}{H_{cf}} \quad \dots (7)$$

Donde:

X: Relación diámetro – Altura de la cámara de fermentación



**Figura 15.** X en función del consumo energético.

**Fuente:** Propia

#### 5. Altura total de la cámara de fermentación

$$H_{cf} = \sqrt[3]{\frac{4V_{cf}}{\pi}} \quad \dots (8)$$

Donde:

$H_{cf}$  : Altura de la cámara de fermentación (m)

$V_{cf}$  : Volumen de la cámara de fermentación ( $m^3$ )

## 6. Diámetro de la cámara de fermentación.

$$d_{cf} = \sqrt{\frac{4V_{cf}}{\pi h_{cf}}} \quad \dots (9)$$

Donde:

$d_{cf}$  : Diametro de la cámara de fermentación (m)

## 7. Radio de la cámara de fermentación

$$r_{cf} = d_{cf}/2 \quad \dots (10)$$

Donde:

$r_{cf}$  : Radio de la cámara de fermentación (m)

## 8. Radio de la cúpula

$$r_c = \sqrt{h_{cf}^2 + r_{cf}^2} \quad \dots (11)$$

Donde:

$r_c$  : Radio de la cúpula (m)

## 9. Altura de la cúpula

$$h_c = r_c - h_{cf} \quad \dots (12)$$

Donde:

$h_c$ : Altura de la cúpula (m)

## 10. Volumen de la Sección Cónico

$$V_{sc} = \frac{(\pi R^2 + \pi r^2) * h}{2} \quad \dots (13)$$

Donde:

$V_{sc}$  : Volumen Sección Cónica (m<sup>3</sup>)

R : Radio mayor (m)

r : Radio menor (m)

H : Altura (m)

### 1.3.10.3. Cálculo de espesores de las paredes del biodigestor.

A continuación, se muestra la secuencia de cálculo para determinar los espesores de las paredes del biodigestor.

#### 1. Cálculo de espesores para la cámara de fermentación.

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad \dots (14)$$

Donde:

t : Espesor de la pared, pulgadas

P: Presión de Diseño, PSI

R: Radio interior, Pulgadas

S : Valor del esfuerzo del material, PSI

E : Eficiencia de la junta

#### 2. Cálculo de espesores para la cúpula.

$$t = \frac{PLM}{2SE - P(M - 0.2)} \quad \dots (15)$$

Donde:

t: Espesor de la pared, pulgadas

P: Presión de Diseño, PSI

L: Radio interior del casquete, Pulgadas

S: Valor del esfuerzo del material, PSI

E: Eficiencia de la junta

M: Relación L/r

r : Radio menor de la cúpula

El factor “M” está comprendida en la división del radio interior “L” y el radio interior de la curvatura “r”. En la *Figura 16*, muestra los valores de “M”.

VALORES DEL FACTOR “M”																	
L/r	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
M	1.00	1.03	1.06	1.08	1.10	1.13	1.15	1.17	1.18	1.20	1.22	1.25	1.28	1.31	1.34	1.36	1.39
L/r	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	16.3	*
M	1.41	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.60	1.62	1.65	1.69	1.72	1.75	1.77	
* LA MAXIMA RAZON PERMITIDA ES: $L = D + 2t$ (véase la nota 2 de la página opuesta)																	

*Figura 16.* Valores del factor “M”.

*Fuente:* Megyesy, E. (1992).

#### 1.3.10.4. Cálculo del agitador.

Las siguientes ecuaciones detallan los pasos a seguir para realizar el cálculo para el diseño del agitador. La secuencia de cálculo del agitador está basado en la metodología de Paul, E. et. al. (Paul, E. et. al., 2004), la secuencia de cálculo es como se muestra a continuación:

## 1. Numero Reynolds ( $R_e$ )

El número de Reynolds es una expresión adimensional que permite caracterizar en movimiento del fluido.

$$R_e = \frac{\rho ND^2}{u} \quad \dots (16)$$

Donde:

$R_e$  : Numero de Reynolds

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

$N$  : Velocidad de rotación (rps)

$u$  : Viscosidad (Pa. s)

## 2. Número de Potencia ( $N_p$ )

El número de Potencia es proporcional a la relación entre la fuerza de rozamiento que actúa sobre una unidad de área del impulsor y la fuerza de inercia. Cuando el estanque contiene placas deflectoras, el  $N_p$  tiene una buena correlación con el número de Reynolds. Cuando existe régimen turbulento,  $N_p$  tiene valor constante.

$$N_p = \frac{P}{N^3 D^5 \rho} \quad \dots (17)$$

Donde:

$N_p$  : Número de Potencia

$P$  : Potencia agitacion del impulsor (watt)

$N$  : Velocidad de rotación (rps)

$D$  : Diametro del agitador (m)

### 3. Potencia de agitación del impulsor

Se calcula para hallar la potencia requerida necesaria para lograr la velocidad de giro del impulsor.

$$P = \frac{N_p N^3 D^5 \rho}{g_c} \quad \dots (18)$$

Donde:

P : Potencia agitación del impulsor (watt)

$N_p$ : Numero de Potencia

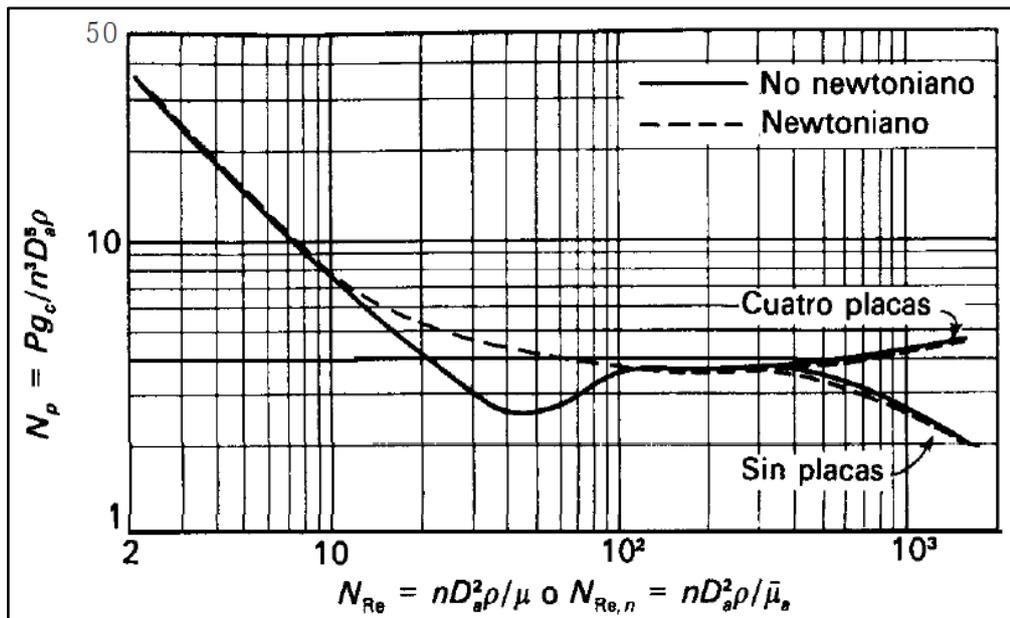
N : Velocidad de rotación (rps)

D : Diametro del agitador (m)

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

g : Gravedad  $\text{m}/\text{s}^2$

Los modelos de flujo de un líquido defieren considerablemente de los líquidos no newtonianos se muestran en la *Figura 17*.



*Figura 17.* Correlación de potencia de una turbina de seis palas con líquidos no newtoniano.

*Fuente:* McCabe, L. et. al. (1991).

#### 4. Efecto de la temperatura sobre la viscosidad aparente

La *figura 18* muestra la viscosidad aparente de dos abonos a diferentes temperaturas y a diferentes tasas de cizallamiento. Como se puede ver, la viscosidad aparente disminuye con aumentar la tasa de corte y la temperatura.

Temperature (°C)	Apparent viscosity (Pa s)			
	Manure 1 (91 g[TS]l <sup>-1</sup> )			Manure 2 (107 g[TS]l <sup>-1</sup> )
	Rate of shear			Rate of shear
	85.7 (s <sup>-1</sup> )	142.8 (s <sup>-1</sup> )	238 (s <sup>-1</sup> )	238 (s <sup>-1</sup> )
30	0.97	0.70	0.56	0.72
35	0.96	0.70	0.50	0.64
40	0.87	0.63	0.46	-
45	0.77	0.55	0.40	0.58
50	0.68	0.49	0.38	0.52
55	0.57	0.42	0.33	0.43
60	0.57	0.41	0.30	0.37
<i>A</i>	-0.016	-0.011	-0.009	-0.011
<i>B</i>	1.47	1.05	0.81	1.05
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.966	0.969	0.987	0.978

**Figura 18.** Viscosidad aparente a diferentes temperaturas.

**Fuente:** El-Mashad et al. (2005).

#### 5. Cálculo del eje del agitador.

$$S_y = 2 \cdot \tau \quad \dots (19)$$

Donde:

$\tau$ : Esfuerzo cortante

$S_y$ : Esfuerzo de fluencia

#### 6. Factor de seguridad.

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma} \quad \dots (20)$$

Donde:

$F_s$ : Factor de seguridad

$\sigma$ : Esfuerzo normal

Para el caso de cortante puro el esfuerzo de fluencia se relaciona con el esfuerzo cortante mediante la *Ecuación 22*, Budynas, R., et. al. (2008).

$$2. \tau = \frac{S_Y}{F_S} \quad \dots (21)$$

$$\tau = \frac{T \cdot C}{J} \quad \dots (22)$$

Donde:

$\tau$ : Esfuerzo cortante

$J$ : Momento polar de inercia

### 7. Cálculo de torque.

$$T = \frac{P}{\omega} \quad \dots (23)$$

Donde:

$T$  : Torque, N.m

$P$  : Potencia del rotor, Watt.

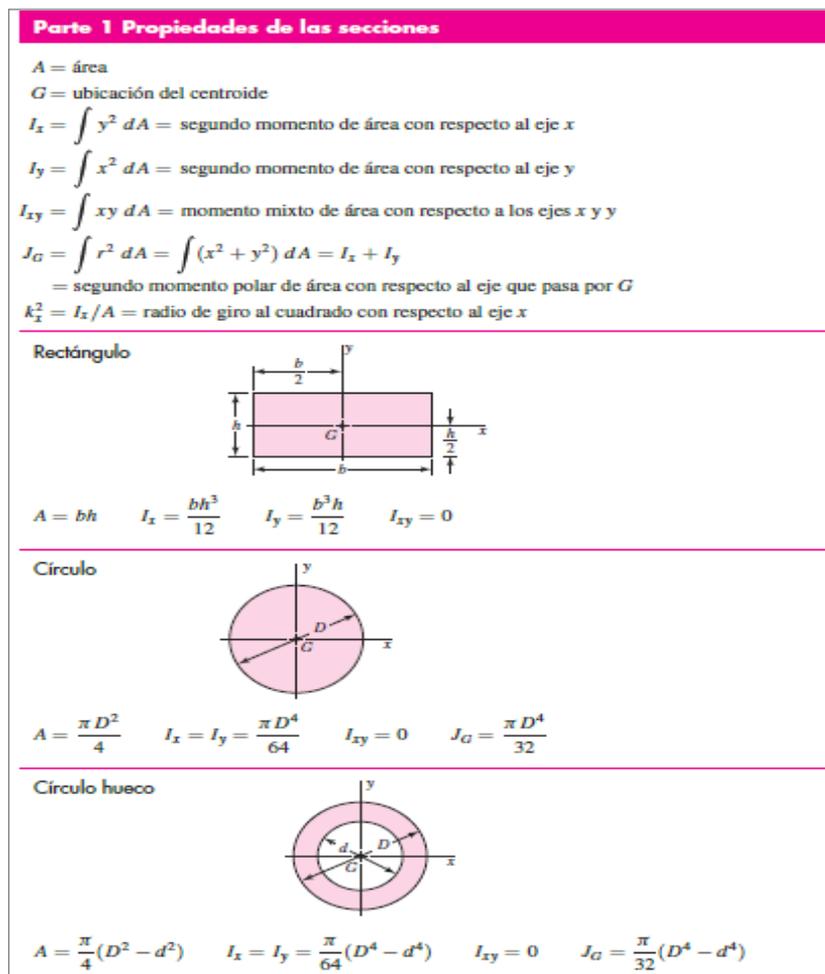
$\omega$  : Velocidad angular, RPM.

La velocidad angular se calcula de la siguiente manera:

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) \quad \dots (24)$$

### 8. Cálculo del diámetro del eje.

Para el cálculo del momento polar de inercia se está tomando como referencia la *Figura 19*, propiedades geométricas de un círculo para ejes solidos o huecos.



**Figura 19.** Propiedades de las secciones.

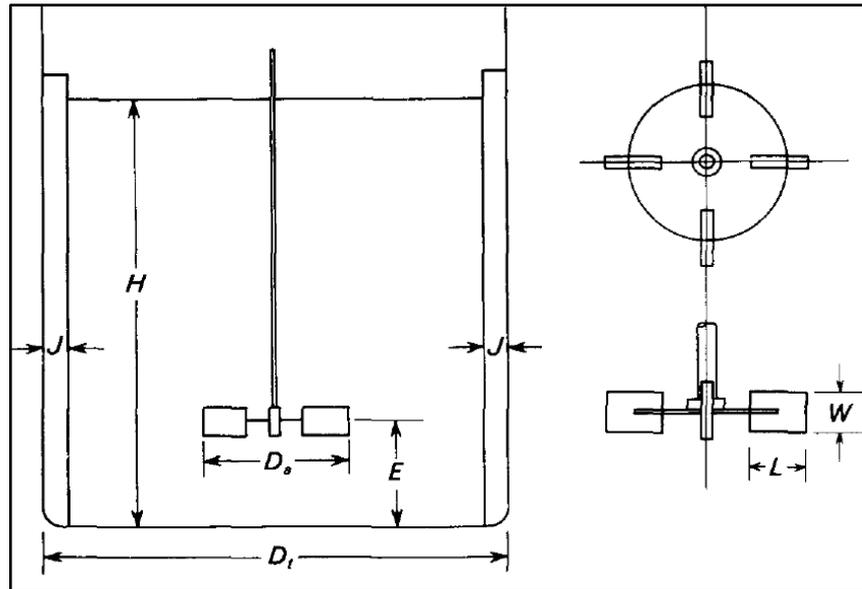
**Fuente:** Budynas, R., et. al. (2008).

Para determinar el diámetro del eje, se calcula con la siguiente formula:

$$d = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot (16) \cdot T \cdot Fs}{\pi \cdot S_y}} \quad \dots (25)$$

**9. Calculo de diseño estándar de una hélice de cuatro palas con un ángulo de inclinación de 45°.**

Cada una de estas decisiones afecta a la velocidad de circulación del lodo de estiércol, el consumo y la potencia. Generalmente se utiliza agitadores de palas inclinadas en 45° como se muestra en la *Figura 20*.



**Figura 20.** Medidas de un agitador de turbina.

**Fuente:** McCabe, L., et. al. (1991).

Para una turbina de 4 palas con  $45^\circ$  de inclinación ( $W/D_a = 6$ ), obtenemos que el número de flujo es igual a  $N_q = 0,87$ .  $N_q$  es una variable que depende en función al tamaño del tanque y al número de hélices del agitador.

Para calcular el diámetro de las hélices del agitador, la altura del eje del agitador, la altura y el ancho de la hélice, utilizaremos las siguientes formulas.

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{H}{D_t} = 1 \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \quad \dots (26)$$

$$\frac{E}{D_a} = 1 \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad \frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \quad \dots (27)$$

Donde:

$D_a$ : Diámetro del rodete.

$D_t$ : Diámetro del tanque del biodigestor.

$E$ : Altura de la base del tanque al rodete.

$H$ : Altura del tanque del biodigestor.

$W$ : Altura de la hélice del agitador.

$J$ : Ancho de la pared del biodigestor.

$L$ : Ancho de la hélice del agitador.

#### **1.4. Formulación del Problema.**

¿Cuáles serán las especificaciones técnicas y geométricas de un biodigestor de 3,1 m<sup>3</sup> de metano/día para el Caserío la Zanja – Cajamarca?

#### **1.5. Justificación e Importancia.**

##### **1.5.1. Técnica.**

En el diseño del biodigestor representa el primer esfuerzo de ingeniería de diseño a realizarse en la zona de La Zanja con el concepto de Energía Renovable en su forma de producción de biogás.

##### **1.5.2. Económica.**

El biogás generado se usará en energía eléctrica para la población, lo que directamente impactaría en su economía.

##### **1.5.3. Ambiental.**

Debido a que el biodigestor aprovecha los gases que emanan de las excretas del ganado vacuno para transformarlas en biogás, estaríamos reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero (Metano y Óxido Nitroso) que provocan el calentamiento global.

##### **1.5.4. Social.**

El biodigestor es una fuente de energía renovable y sostenible para el caserío, siendo amigable con el medio ambiente y beneficiosa con los pobladores, su propósito es producir constantemente biogás y satisfacer la necesidad energética del caserío, mejorando la calidad de vida de la población.

#### **1.6. Objetivos**

##### **1.6.1. Objetivo General.**

Diseñar un biodigestor de estiércol de ganado vacuno para abastecer de biogás necesario en la producción de energía eléctrica a la población del caserío La Zanja - Cajamarca.

### **1.6.2. Objetivos Específicos.**

1. Determinar la demanda de energía eléctrica mediante encuestas y cálculo analítico de la población del caserío La Zanja – Cajamarca.
2. Seleccionar mediante una matriz morfológica la alternativa de solución del diseño de biodigestor más viable.
3. Dimensionar el biodigestor a partir de la necesidad energética de la población mediante cálculo y selección de elementos electromecánicos respetando los códigos, normas, estándares, recomendaciones de diseño y del criterio ingenieril.
4. Realizar el análisis económico del proyecto.

**CAPITULO II**  
**MATERIAL Y METODO**

## **II. MATERIAL Y METODO**

### **2.1. Tipo y Diseño de Investigación.**

En la presente tesis de Diseño de Biodigestor con estiércol de ganado vacuno, se empleó el método cuantitativo, debido a que se utilizó datos numéricos para realizar de forma sistemática, organizada y estructurada el trabajo de investigación.

#### **2.1.1. Tipo de Investigación**

Aplicativa

#### **2.1.2. Diseño de Investigación**

Pre - experimental

### **2.2. Población y Muestra**

No aplica a este tipo de Investigación.

### **2.3. Variables y Operacionalización.**

El presente trabajo de investigación está adaptada al esquema de variables de la metodología de diseño utilizada por Dieter (Dieter, 2010).

#### **2.3.1. Variables Independientes:**

Las variables independientes de la presente tesis de investigación, se describen a continuación:

- a. Consumo Energético.
- b. Estimación de la cantidad de estiércol.

#### **2.3.2. Variables Dependientes:**

Las variables dependientes de la presente tesis de investigación, son como se describen a continuación:

- a. Dimensionamiento general del biodigestor.
- b. Producción de biogás.

En las tablas 1 y 2 muestra la Operacionalización de las variables independientes y dependientes utilizadas en la presente tesis.

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables independientes.*

**Fuente:** Propia

<b>Variables Independientes</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Índice</b>	<b>Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos</b>
CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL BIODIGESTOR	Consumo Energético de la Población	Cantidad de Pobladores Demanda Energética	kW.h/día	Encuestas y Análisis de Documentos
	Estimación de la Cantidad de Estiércol	Cantidad de Vacas	Kg/día	Encuestas y Análisis de Documentos

**Tabla 2***Operacionalización de variables dependientes.***Fuente:** Propia

<b>Variables Dependientes</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Índice</b>	<b>Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos</b>
DISEÑO DE UN BIODIGESTOR CON ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO	Dimensionamiento General del Biodigestor	Largo Ancho Largo	m m m	Encuestas y Análisis de Documentos
	Producción de Biogás	Biogás producido por Estiércol de Ganado Vacuno	m <sup>3</sup> /Kg	Análisis de Documentos

## **2.4. Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos.**

### **2.4.1. Técnicas de Recolección de datos.**

En el presente trabajo de investigación, se utilizaron técnicas de recolección de datos, con el propósito de obtener información necesaria para el desarrollo de nuestros objetivos específicos propuestos. Las técnicas que hemos utilizado son las que se describen a continuación:

#### **A. Observación**

La técnica de la observación nos permite identificar, describir, analizar y registrar datos para la investigación. Es por ello que se realizó visitas al caserío la Zanja lográndose identificar la realidad problemática del caserío, describir las posibles soluciones al problema, asimismo analizar el potencial de generación de biogás a partir de las excretas del ganado vacuno de los pobladores y registrar datos relacionados a la solución del problema, como lo son la geografía, los efectos atmosféricos, la cantidad de ganado vacuno, etc.

#### **B. Encuesta**

La técnica de la encuesta está basada en la obtención de información mediante la formulación de preguntas específicas relacionadas al problema de investigación realizadas por los autores del presente trabajo de investigación a los pobladores del caserío la Zanja.

Las preguntas planteadas en la encuesta (*Anexo I*) tienen la finalidad de recopilar información de las familias del caserío para determinar el número de vacas y la capacidad de generar biogás.

#### **C. Grupo de discusión**

El grupo de discusión concierne al dialogo con autoridades y pobladores, para dar a conocer el propósito de nuestro trabajo de investigación y escuchar sus opiniones y necesidades acerca de la situación problemática actual del caserío la Zanja.

#### **D. Información bibliográfica**

Se utilizó esta técnica para recopilar información adecuada, el cual nos brinde conocimiento y entendimiento del tema. La información bibliográfica será proveniente de internet, libros, artículos de investigación, tesis, normas y estándares de diseño, los cuales nos servirán para el correcto entendimiento sobre el diseño de biodigestores.

#### **E. Análisis de documentos**

Esta técnica es muy importante porque estaría basada en el análisis de documentos (leyes, libros, revistas científicas, etc.), para la correcta evaluación del diseño del biodigestor y factibilidad técnico – económica del mismo.

### **2.4.2. Instrumentos de Recolección de Datos.**

Para la siguiente investigación se utilizaron los siguientes instrumentos de recolección de datos:

- Guía de Observación.
- Análisis de documentos.
- Encuestas

#### **A. Guía de Observación:**

Las guías de observación las empleamos para documentar datos de interés del caserío, tales como, accesos al caserío, geografía, condiciones ambientales, demografía y medios de comunicación.

#### **B. Análisis de documentos:**

Es una técnica de investigación que nos ayuda a describir de forma objetiva, sistemática y cuantitativa información relevante, en resumen, se trata de transformar un documento en datos cuantitativos.

#### **C. Encuesta: Ver Anexo I.**

Se realiza a las autoridades y población para determinar su grado de satisfacción.

### **2.4.3. Análisis Estadísticos de los Datos.**

Los datos obtenidos serán analizados utilizando los métodos básicos de la estadística descriptiva, elaborándose tablas de distribución de frecuencia, graficas de dispersión, promedios aritméticos y otros métodos estadísticos.

### **2.5. Procedimientos de Análisis de Datos.**

Recolectar los datos implica elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico (Hernández et. Al., 2006). Los procedimientos de recolección de datos que sea empleado para la obtención de información se enumeran a continuación, asimismo, en la *figura 21*, muestra la secuencia en un diagrama de flujo del proceso de recolección de datos.

#### **Paso 1: Elaboración de encuesta.**

Se elaboró y aplicó una secuencia de preguntas a los pobladores del caserío la Zanja para obtener información específica que necesitaremos para los parámetros de diseño del biodigestor.

#### **Paso 2: Determinar el número de encuestados.**

La encuesta se realizará según el rango de número de casas en el caserío, para determinar la cantidad de ganado y su opinión sobre el diseño de un biodigestor en su localidad.

#### **Paso 3: Aplicación de la encuesta.**

Se realizó la encuesta según el rango de número de casas en el caserío para determinar los parámetros de diseño y el grado de satisfacción sobre el informe de investigación planteado para su localidad.

#### **Paso 4: Identificar las necesidades de los pobladores.**

Mediante la encuesta se identifica las necesidades energéticas de los pobladores del caserío la Zanja, el cual sería dato muy útil como parámetro de diseño del tanque biodigestor.

**Paso 5: Evaluación geográfica y ambiental del caserío.**

Se realiza una visita de campo al caserío la Zanja, para observar la realidad de dicha localidad y plantear soluciones respecto a las consecuencias que representan la geografía y el clima.

**Paso 6: Evaluar el consumo eléctrico por familia.**

Como dato obtenido mediante la aplicación de la encuesta, se determinó el pago mensual por servicio eléctrico, la intención es determinar el consumo eléctrico por familia.

**Paso 7: Evaluar la producción diaria de estiércol.**

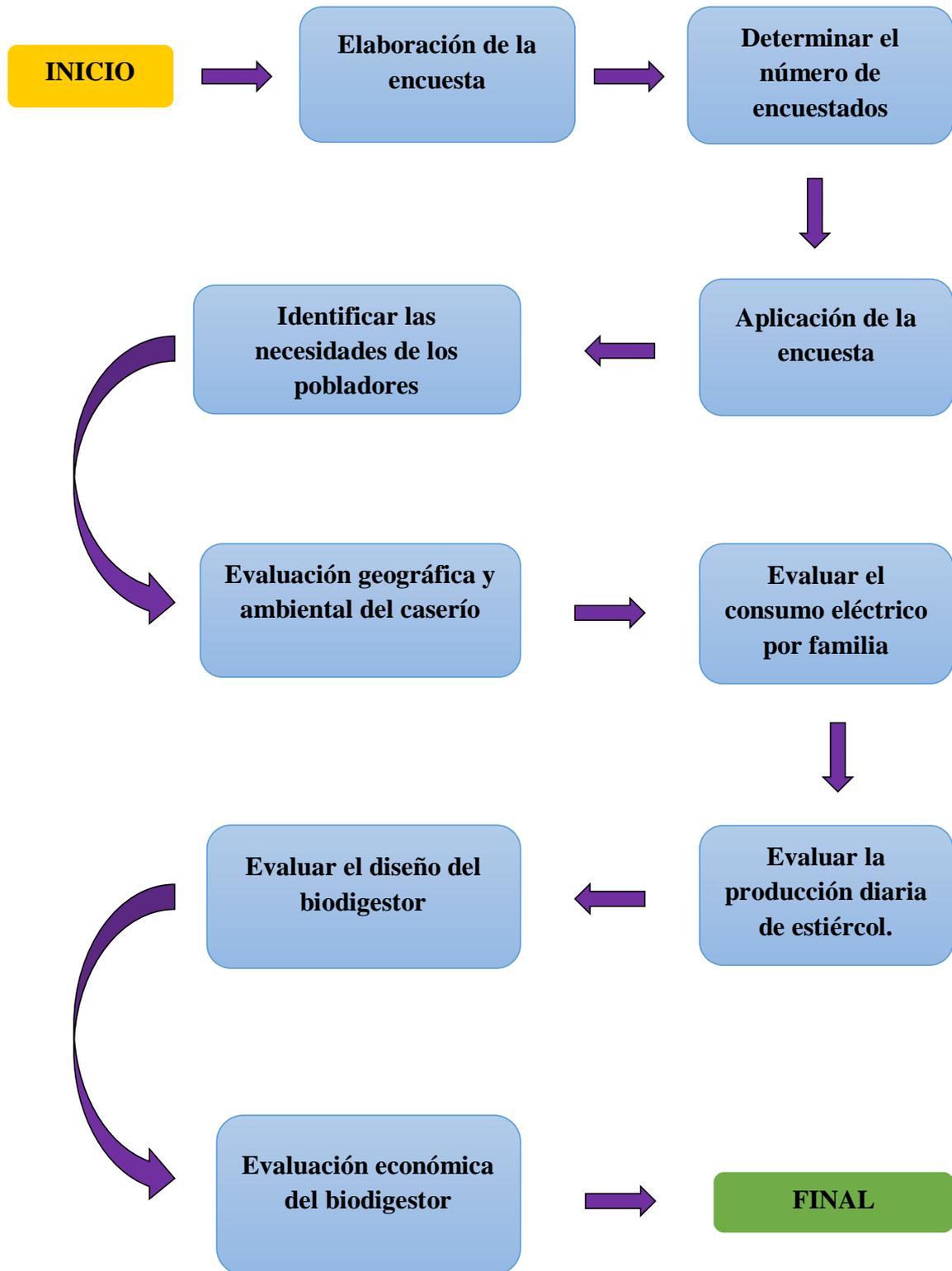
Se realizará la encuesta y se determinará la producción diaria de estiércol según el conocimiento de cada familia, con la intención de determinar los parámetros de diseño del biodigestor.

**Paso 8: Evaluar el diseño del biodigestor.**

Se evalúa el diseño del biodigestor según a las necesidades de los pobladores del caserío, con el propósito de determinar la producción de biogás.

**Paso 9: Evaluación económica del biodigestor.**

Una vez realizado el tipo y diseño del biodigestor se determinará el gasto económico.



**Figura 21.** Diagrama de flujo del procedimiento de recolección de datos.

*Fuente:* Propia

## **2.6. Criterios Éticos.**

Los criterios éticos están basados en nuestros valores personales como la responsabilidad, dedicación y respetando el código de ética profesional del colegio de ingenieros del Perú (CIP).

Código de ética del CIP (Colegio de Ingeniero del Perú) aprobado en la III Sección Ordinaria del Congreso Nacional de Consejos Departamentales del período 1998 – 1999 en la ciudad de Tacna 22, 23, 24 de abril de 1999.

Art. 1.- Los ingenieros están al servicio de la sociedad. Por consiguiente, tienen la obligación de contribuir al bienestar humano, dando importancia primordial a la seguridad y adecuada utilización de los recursos en el desempeño de sus tareas profesionales.

Art. 5.- Los ingenieros cuidarán de los recursos humanos, económicos, naturales y materiales, sean racional y adecuadamente utilizados, evitando su abuso o dispendio, respetarán y harán respetar las disposiciones legales que garanticen la preservación del medio ambiente.

Art. 11.- Los ingenieros serán objetivos y veraces en sus informes, declaraciones o testimonios profesionales.

## **2.7. Criterios de Rigor Científico.**

Los criterios de rigor científico que se tendrán en cuenta en el presente proyecto son la fiabilidad, validez, neutralidad y replicabilidad.

### **Fiabilidad**

Los datos obtenidos corresponderán a una metodología científica meticulosa.

### **Validez**

Las variables serán escogidas según su relevancia y relación al problema de investigación.

**Neutralidad**

Los resultados obtenidos de la investigación no estarán sesgados por intereses y perspectivas de los autores.

**Replicabilidad**

Los procedimientos empleados facilitaran la intención de contrastar los resultados en investigaciones futuras.

# **CAPITULO III**

# **RESULTADOS**

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Consumo Energético de la Población.

##### 3.1.1. Resultados de la Encuesta a los Pobladores del Caserío la Zanja.

Para determinar las necesidades del caserío la Zanja se realizó encuestas a los pobladores. El formato vacío de estas encuestas se puede observar en el *Anexo 1* y tres ejemplares de las encuestas realizadas se detallan en el *Anexo 2*.

En el *Anexo 3*, se muestra el resumen de las respuestas obtenidas y mientras que en la *Tabla 3*, se muestra las cantidades diarias de producción de estiércol según el tipo de ganado. Los valores estadísticos se observan en las *Figura 22* y en la *Figura 23*. Las conclusiones que se dejan entrever en los resultados se describen en forma escueta a continuación:

##### 1. Servicio Eléctrico.

Las familias en el caserío la Zanja, cuentan con el servicio eléctrico brindado por la concesionaria “Hidrandina”, el cual presenta deficiencias debido al mal clima que presenta el caserío.

##### 2. Pago mensual por el servicio eléctrico.

Según la encuesta, el costo por el servicio eléctrico varía de 10, 15 y 20 soles mensuales en promedio por familia, a continuación, se detallan las cantidades monetarias facturadas por familia:

- A. 1 familia paga en promedio mensual de S/. 10.00.
- B. 7 familias pagan en promedio mensual de S/. 15.00.
- C. 12 familias pagan en promedio mensual de S/. 20.00.
- D. El pago medio ponderado por servicio eléctrico es de S/. 17.75

$$Pago_{medio\ ponderado} = \frac{(1 * 10.00 + 7 * 15 + 12 * 20)}{1 + 7 + 12} = S/. 17.75$$

### **3. Uso de generador eléctrico**

En el caserío la Zanjas, se hace uso de 1 generador eléctrico, el cual es usado en fechas festivas, en eventos populares y con frecuencia por la falta de servicio eléctrico, consume aproximadamente 50 galones de combustible diésel por mes, equivaliendo aproximadamente a S/.180.00 mensuales.

### **4. Actividades económicas.**

Las actividades económicas realizadas por los pobladores en el caserío la Zanja, son la agricultura, ganadería, comercio y minería. Respecto a la ganadería, existe gran cantidad de ganado vacuno, el cual utilizaremos las excretas como materia prima para el dimensionamiento del biodigestor. Además, es propicio estimar la producción de biogás a partir de las excretas según los tipos de animales que crían por familia.

### **5. Tasa de mortandad y natalidad**

En promedio, la tasa de mortandad anual de ganado vacuno por familia es de 2, teniendo en cuenta que las pérdidas son por causas de enfermedad, accidentabilidad y por causa de las festividades del caserío. Sin embargo, la natalidad del ganado vacuno se promedia al menos 4 terneros al año por familia.

### **6. Viabilidad del estiércol**

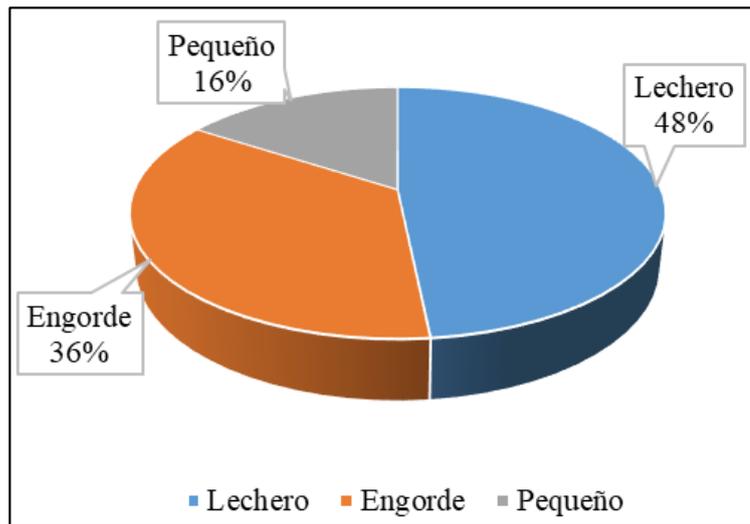
En la actualidad existen en promedio 461 cabezas de ganado, anualmente la crianza de vacas aumenta en 10 terneros, este resultado expresa la viabilidad de la producción de estiércol y por ende la producción de biogás.

**Tabla 3**

*Producción diaria de estiércol por tipo de ganado.*

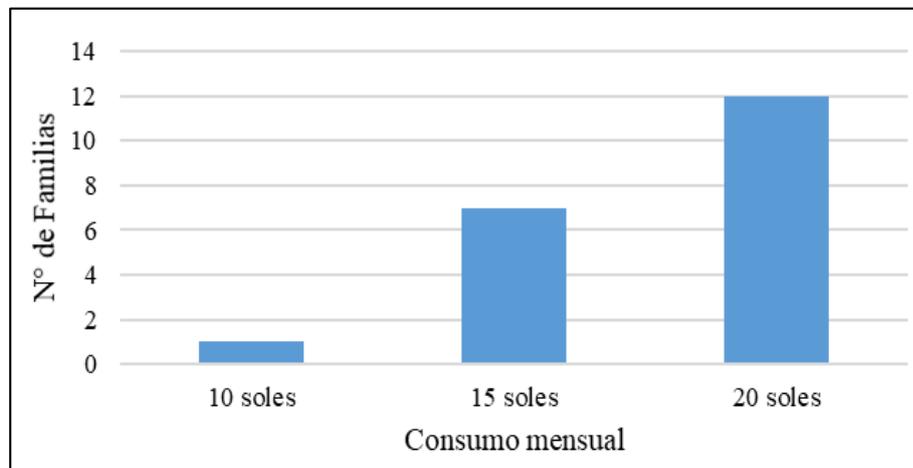
**Fuente:** Propia

Tipo de ganado	Cantidad de ganado	Producción de estiércol por cabeza de ganado (Kg)	Producción diaria de estiércol (Kg)
Lechero	223	12	2676
Engorde	165	16.5	2722.5
Ternero	73	6	438
TOTAL	461	-	5836.5



**Figura 22.** Diagrama de distribución de cabezas de ganado, según tipo.

**Fuente:** Propia



**Figura 23.** Diagrama cantidad de familias según su consumo eléctrico mensual.

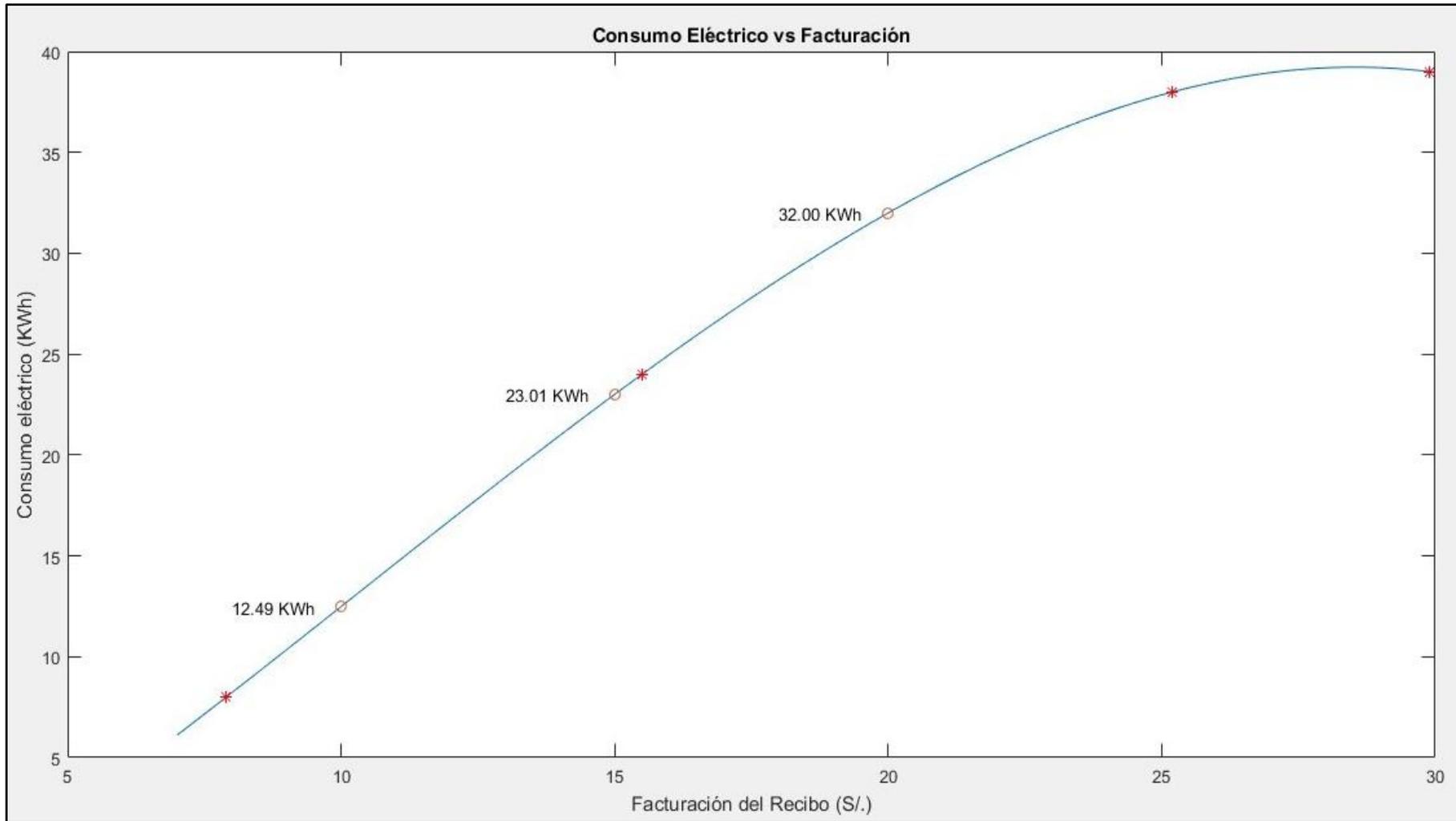
**Fuente:** Propia

### 3.1.2. Estimación del Consumo Energético del Caserío la Zanja.

Para calcular la necesidad energética de la población, se tomarán en cuenta los datos obtenidos de las encuestas, los resultados están ubicados en la *Anexo 3*, donde se describe el monto promedio facturado por el servicio eléctrico. Asimismo, para la estimación del consumo energético se tomará en cuenta el consumo eléctrico mostrado en los recibos (ver *Anexo 4*). Debido a que el método de cálculo del costo monetario del consumo varía entre recibo y recibo, no se puede establecer una única secuencia general de cálculo. Por tanto, con los recibos disponibles se estableció la estimación mediante una interpolación. En el *Anexo N° 5*, se muestra la estructura del programa para calcular el consumo eléctrico.

En la *Figura 24* se muestra las intersecciones de los valores del consumo eléctrico, obtenidos mediante interpolación de los recibos eléctricos y los datos obtenidos de las encuestas, los resultados se describen de la siguiente manera:

- Para el pago promedio de S/. 10.00, el consumo promedio 12.49 KWh/mes.
- Para el pago promedio de S/. 15.00, el consumo promedio 23.01 KWh/mes.
- Para el pago promedio de S/. 20.00, el consumo promedio 32.00 KWh/mes.
- El consumo promedio de energía mensual en el caserío la Zanja equivale a 557.56 KWh/mes.



**Figura 24.** Curva de interpolación consumo eléctrico vs facturación.

**Fuente:** Propia

## **3.2. Selección de la alternativa más óptima de diseño.**

### **3.2.1. Recomendaciones de Diseño para el Biodigestor de Estiércol Vacuno.**

Después de realizar la búsqueda de códigos, normas y estándares de diseño a nivel mundial, se concluyó que no existe información específica para desarrollar el diseño del biodigestor, esto es ostensible, debido a que es un nuevo diseño de biodigestor. Por lo tanto, se recurrió a extraer información de los artículos de investigación encontrados, los datos obtenidos se detallan en la *Tabla 4*.

### **3.2.2. Hoja de Especificaciones de Ingeniería.**

Después de realizar las encuestas e identificar las necesidades de la población, procedimos a consultar las recomendaciones de diseño, estableciendo los rangos más apropiados para el diseño del biodigestor propuesto que de hecho será de mucho beneficio para los caseríos y zonas rurales del Perú. Los resultados se pueden divisar en la *Tabla 5*.

#### **3.2.2.1. Producción de biogás.**

El biogás que produzca el biodigestor debe ser igual o superior a 3.1 m<sup>3</sup>/día, para poder satisfacer las necesidades energéticas de la población, por lo tanto, el funcionamiento del mismo debe ser de manera continua.

#### **3.2.2.2. Almacenamiento de Estiércol.**

El 75% de la capacidad de almacenamiento del biodigestor debe contener la mezcla agua – estiércol.

#### **3.2.2.3. Almacenamiento de Biogás.**

El 25% restante, corresponde a la capacidad de almacenamiento de la cúpula, lugar donde se debe concentrar el biogás producido

#### **3.2.2.4. Operación en Condiciones Mesofílicas.**

El biodigestor opera en condiciones mesofílicas, lo cual comprende temperaturas de 25 °C hasta 30 °C.

#### **3.2.2.5. Presión de funcionamiento.**

La presión de funcionamiento se encuentra 0.5 a 1.5 bar.

**Tabla 4**

*Recomendaciones de diseño para el biodigestor del caserío la Zanja.*

**Fuente:** Propia

<b>CRITERIO</b>	<b>RECOMENDACIÓN</b>	<b>FUENTE</b>
<b>MATERIAL</b>	Se recomienda utilizar acero inoxidable AISI A304, para la fabricación del tanque y tuberías de acceso y salida del estiércol, para evitar la corrosión causada por el ácido sulfhídrico presente en el biogás,	<b>Navarro, 2012</b>
	Es recomendable utilizar el proceso de soldadura TIG en las juntas del tanque y tuberías, debido a los escasos humos emitido en el proceso, permitiendo obtener menos imperfecciones en la soldadura.	
	Se puede emplear como eje del agitador un tubo de acero SAE 1020 con aletas de acero galvanizado.	<b>Obando, 2009</b>
	Se recomienda que los ductos para el transporte de biogás sean de material PVC, por el alto nivel de corrosión del biogás.	
	Recomienda recubrir la parte interna del tanque con Resina Epóxica CE100 Brescon para contrarrestar los efectos de la corrosión.	<b>Tucki et. Al., 2015</b>

<b>GEOMETRIA</b>	El volumen total de un biodigestor consiste en la suma del volumen de la cámara de fermentación y el de la cúpula.	
	El volumen de la cámara de fermentación debe comprender el 75% y 80% del volumen total del biodigestor.	<b>Campos, 2011</b>
	El volumen de la cúpula de almacenamiento de biogás está comprendido entre 20% y 25% del volumen del biodigestor.	
	Recomienda que los espesores del recubrimiento del tanque deben ser de 6 mm, mientras para el fondo del biodigestor indica que el espesor adecuado es de 5 mm.	
	Considera que los diámetros de las tuberías de carga y descarga del biodigestor deben ser de igual dimensión, por tanto, se recomienda que el diámetro de las tuberías sea a partir de 4".	<b>Tucki et al., 2015</b>
	Se pueden instalar tuberías de 3/4" de diámetro en los ductos del biogás.	
	Se pueden considerar a partir de 2" el diámetro del eje para el agitador	<b>Obando, 2009</b>
	El diámetro total de un rodete de palas está típicamente comprendida entre el 30% y el 80% del diámetro interior del tanque.	<b>McCabe, et. Al., (1991)</b>

<b>TÉCNICA</b>	La temperatura del biodigestor se monitorea midiendo la temperatura de salida del biogás.	
	Cuando la temperatura del fluido en el intercambiador de calor es superior a 94°C, mantendrá la mezcla a 37.5°C, provocando que el tiempo de retención sea igual a 20 días.	<b>Mantilla et al., 2007</b>
	Recomienda que las proporciones de estiércol y agua sea de 1:1, cuando el biodigestor opera en condiciones mesofílicas (30°C a 40°C).	<b>Campos, 2011</b>
	Cuando el valor de Ph es muy bajo o muy alto, se debe introducir sustancias alcalinas para nivelar los valores hasta los rangos aceptables de 7 y 7.5.	
	El lugar donde se instale el biodigestor debe poseer un espacio abierto para evitar la contaminación por biogás.	<b>Navarro, 2012</b>
	La profundidad de las hélices del agitador debe estar a 2/3 de la altura total del biodigestor.	
	Los agitadores de palas giran a velocidades comprendidas entre 20 y 150 rpm.	
	Para obtener un fuerte flujo axial para la suspensión de sólidos también se utilizan turbinas con una inclinación de las placas de 45°.	<b>McCabe, et. Al., (1991)</b>
	El biogás puede ser almacenado en la cúpula del biodigestor a presiones medias de 0,5 a 1.5 bar.	<b>Hilbert, J. (2003)</b>
	El margen por corrosión del acero cuando está expuesto a ambientes corrosivos es igual a 0.125 pulgadas.	<b>Megyesy, E. (1992)</b>

**Tabla 5***Especificaciones de ingeniería para el diseño del biodigestor.***Fuente:** Propia

SUB-FUNCIÓN	CARACTERÍSTICAS DE INGENIERÍA	UNIDADES	LIMITES	FUENTE
Producción de biogás	Volumen	m <sup>3</sup>	≤ 3.1 m <sup>3</sup> /día	FAO, 2011
Almacenamiento de estiércol	Volumen	m <sup>3</sup>	< 75% del volumen total del biodigestor	
Almacenamiento de Biogás	Volumen	m <sup>3</sup>	< 25% del volumen total del biodigestor	Campos, 2011
Operación en condiciones mesofílicas	Temperatura	Grados Celsius	40°C – 50 °C	
Presión de Funcionamiento	Presión	Bar	0.5 – 1.5	Hilbert, J. (2003)

### 3.2.3. Diseño Conceptual del Biodigestor.

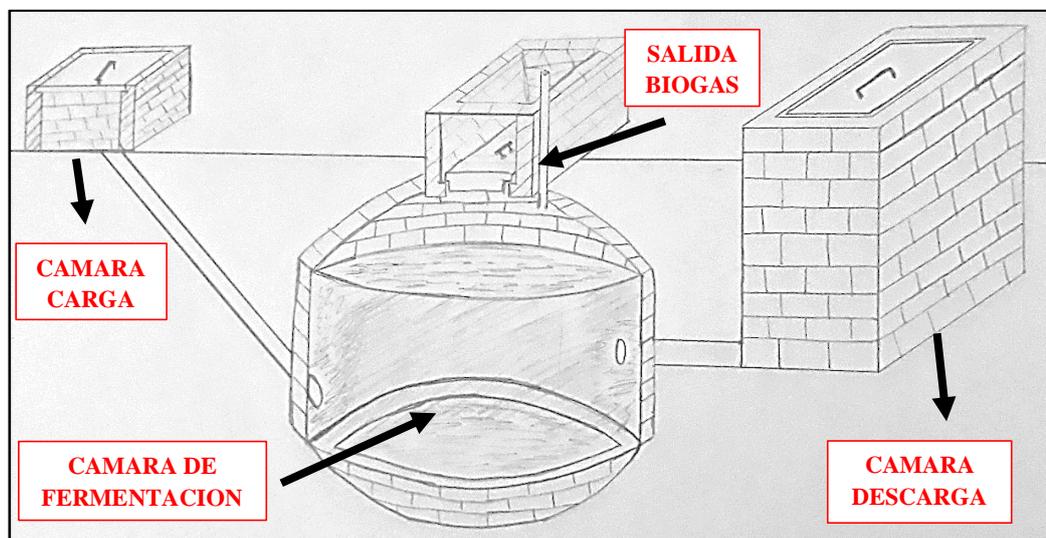
Después de revisar las diferentes bibliografías relacionadas a los diferentes tipos de biodigestores, se seleccionó 6 conceptos de diseño, luego son evaluados mediante una matriz de selección para determinar el concepto más óptimo.

#### 3.2.3.1. Diseño Conceptual

##### Concepto N° 1: Biodigestor de domo fijo o tipo chino.

Este concepto es una adaptación de Almanza (Almanza, 2011). Es un biodigestor tipo chino, el estiércol es mezclado con agua caliente en la cámara de carga. La cámara de fermentación, construida de ladrillo, piedra u hormigón tiene geometría hemisférica tanto el domo como el fondo, unidas con paredes rectas, el interior es sellado por varias capas de mortero haciéndola más resistente, tiene una tapa en la parte superior que permite la limpieza del mismo. En la cámara de descarga se almacena el biol. Este tipo de biodigestores se construyen bajo tierra. En la *Figura 25* se muestra el diseño del biodigestor tipo chino. Los biodigestores tipo chino son de mayor utilidad en las zonas alto andinas, por su alta durabilidad.

Este tipo de biodigestor requiere de mayor tiempo de retención para generar biogás, el costo por mantenimiento es alto debido a la formación de fisuras en su interior, además la producción de biogás se limita a satisfacer la necesidad unifamiliar.



*Figura 25.* Biodigestor tipo chino.

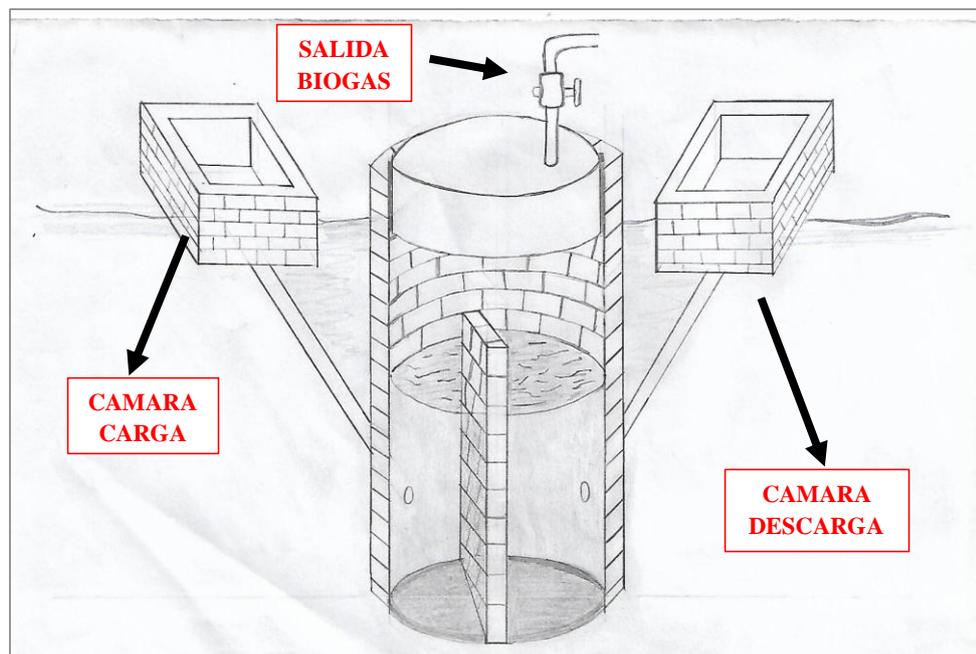
*Fuente:* Propia

## Concepto N° 2: Biodigestor de domo flotante o tipo hindú.

Este concepto es una adecuación de Filippín et al., (Filippín et al., 1988). Es un biodigestor de domo flotante, consiste en una cámara de fermentación construida con ladrillo, dividida en su interior por una pared de ladrillo, está permite separar el agua del excremento explotado para luego filtrar el sedimento hacia la cámara de descarga. Tiene una campana de hierro en la parte superior que con la ayuda de un sello de agua sirve para medir la presión interior del biodigestor en columnas de agua. En la *Figura 26* se aprecia el diseño del biodigestor de domo flotante.

La campana de este tipo de biodigestor tiene la función de un gasómetro, manteniendo el biogás a presión constante, esto mejora la operatividad del equipo, además de prevenir la formación de espuma por causa de la fermentación.

Para el buen funcionamiento del biodigestor, es necesario construir un invernadero para mantener un microclima adecuado, además, el costo de fabricación de la campana es elevado, en muchos casos se fabrican de acero inoxidable o de hierro fundido, requiere de mano de obra calificada para la colocación de la mampostería, de presentarse algún defecto podría presentar fuga de biogás, perjudicando el funcionamiento del gasómetro.



*Figura 26.* Biodigestor tipo hindú.

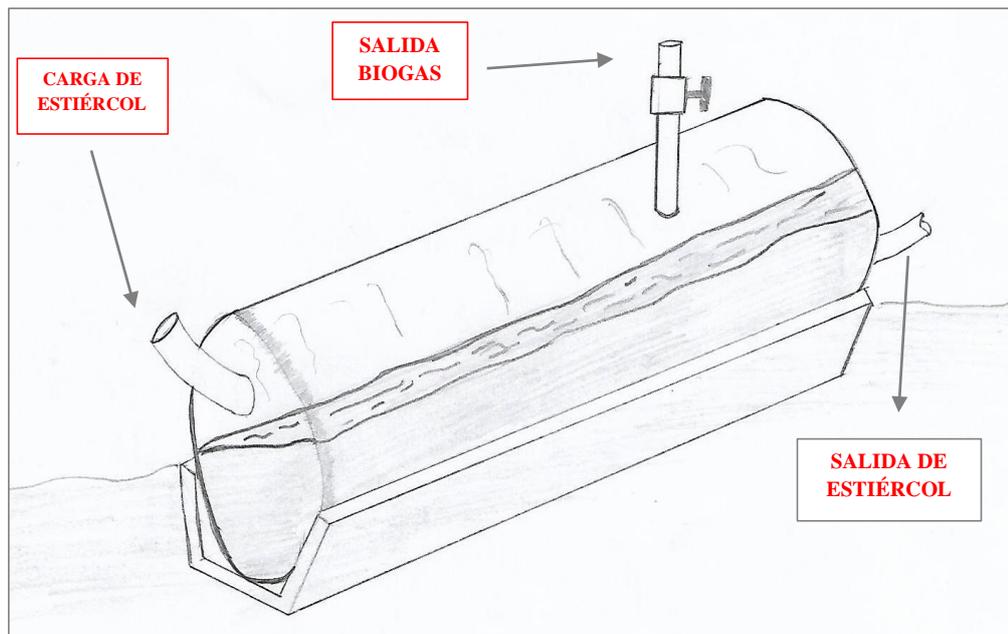
*Fuente:* Propia

### Concepto N° 3: Biodigestor tubular de polietileno.

Este concepto es una adecuación de Botero y Preston (Botero y Preston, 1987), de un biodigestor tubular, La cámara de fermentación tiene forma cilíndrica alargada con los extremos semi esféricos, conectada con las tuberías de carga y descarga de PVC en ambos extremos, y una tubería de menor diámetro para salida de biogás en la parte superior. Este tipo de biodigestores se fabrican con polietileno de alta densidad, sobre la cavidad de una zanja con inclinación del 3%. El diseño del biodigestor tubular se aprecia en la *Figura 27*.

Los biodigestores tubulares son de bajo costo de inversión y pueden ser construidos en poco tiempo, los materiales para la construcción son muy comerciales y rápido de adquirir, el mantenimiento es una tarea fácil de realizar debido a que los materiales empleados en la construcción son livianos.

Las desventajas que presentan este tipo de biodigestores, son fáciles de desgarrar la cubierta, requieren alto tiempo de retención de sólidos y requieren de un microclima para la protección de los rayos solares y para mantener una temperatura adecuada en la fermentación del estiércol.



*Figura 27.* Biodigestor tipo tubular.

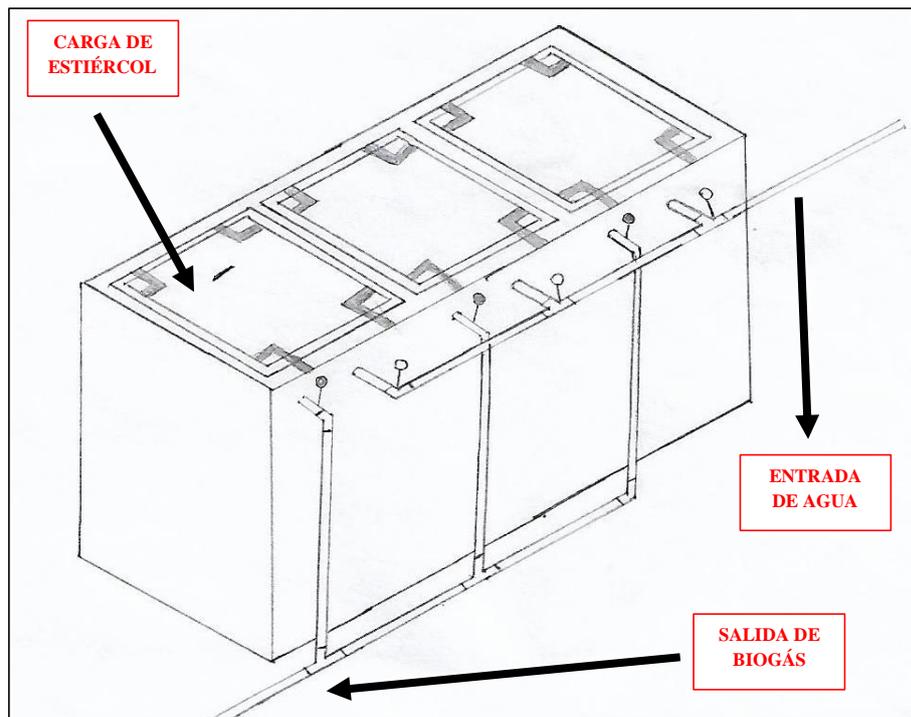
*Fuente:* Propia

#### Concepto N° 4: Biodigestor tipo batch.

Este concepto es una adaptación de Varnero (Varnero, 2011), los biodigestores tipo batch es el conjunto de contenedores herméticos y aislados, la cámara de fermentación está compuesta por un gasómetro flotante, el cual deja salir el biogás cuando alcanza una presión determinada, la carga de estiércol en estos biodigestores se realiza siempre y cuando haya terminado la fermentación del mismo. En la *Figura 28*, se muestra el diseño típico de los biodigestores del tipo batch.

Este tipo de biodigestores requieren menos concentraciones de agua, a diferencia del resto de biodigestores, no forma sedimentos por lo tanto no es tan necesario agitación, su construcción se puede realizar bajo en suelo o semi enterrado, adaptándose en cualquier tipo de terreno.

La carga de estiércol que se aplica en los contenedores de los biodigestores batch es cada 2 a 3 meses, por lo tanto, el tiempo de retención es alto, cuando un contenedor se descarga para mantenimiento y limpieza el resto de contenedores deben suministrar el biogás requerido.



*Figura 28.* Biodigestor tipo batch.

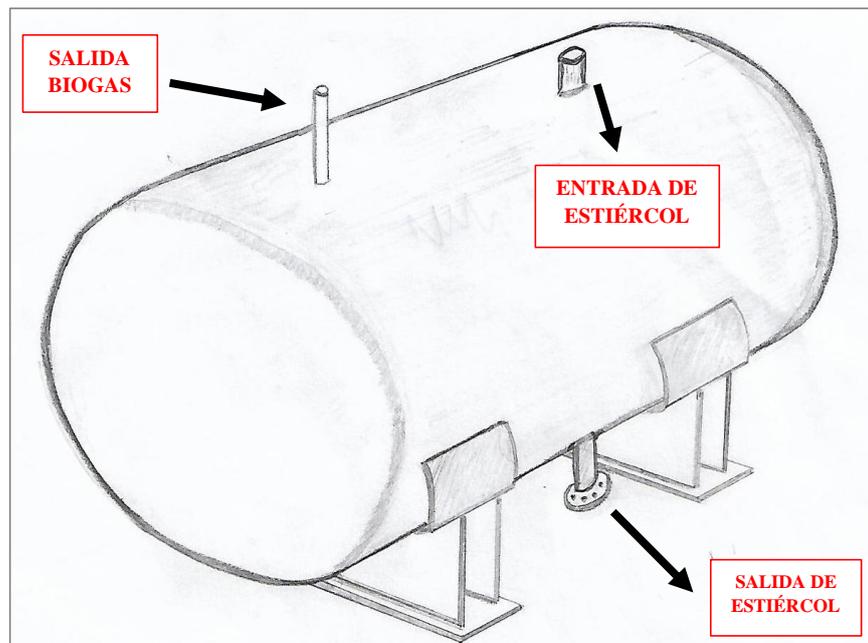
*Fuente:* Propia

### Concepto N° 5: Biodigestor anaeróbico horizontal.

Este concepto es una adecuación de Pérez (Pérez, 2010), este tipo de biodigestores consiste en un recipiente cilíndrico horizontal fabricado de acero inoxidable AISI 304, en los extremos es sellados por tapas de acero con geometría semiesférica, consta con las boquillas de entrada y salida del estiércol, la boquilla de entrada está soldada en el extremo por una brida circular, para asegurar la sujeción al momento de la carga, en la tubería de salida de biogás va instalado un quemador, para evitar el exceso de presiones en el biodigestor. El concepto de diseño del biodigestor horizontal se muestra en la *Figura 29*.

Este tipo de biodigestores opera con normalidad en altas presiones, tiene buena estabilidad ante movimientos sísmicos evitando la formación de grietas y las posibles fugas de biogás.

El costo de los materiales resulta ser una de las desventajas en los tanques de acero, además de requerir algún tipo de aislamiento para evitar pérdidas de calor, por su forma cilíndrica hace que la instalación de equipos, por ejemplo, agitadores sea más compleja.



**Figura 29.** Biodigestor anaeróbico horizontal.

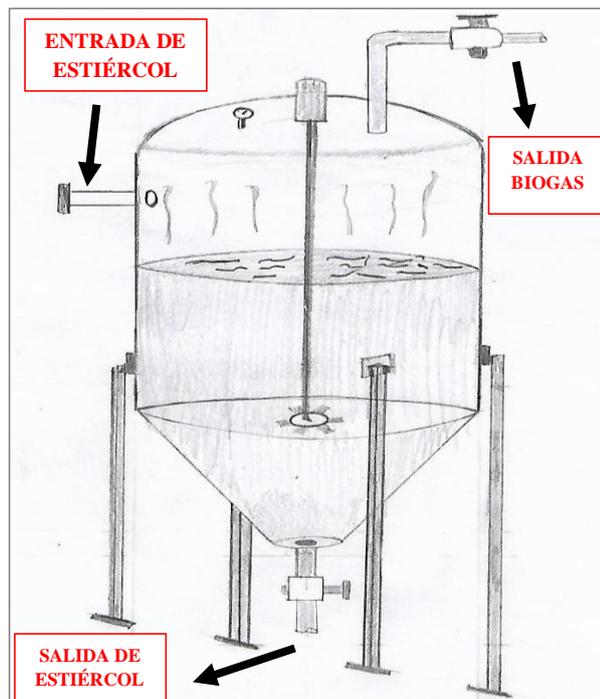
**Fuente:** Propia

### Concepto N° 6: Tanque Biodigestor con fondo semicónico y domo semiesférico.

Este concepto es una variante de adaptación del diseño de Cruz (Cruz, 2015), es el diseño de un biodigestor anaeróbico vertical, el biodigestor está compuesto por una cúpula de geometría toriesférica, la cámara de fermentación tiene forma cilíndrica con fondo cónico, adecuada para el deslizamiento del biol, en la parte superior del biodigestor se encuentra la tubería de salida de biogás, agitador y los instrumentos de medición. En el lateral, la tubería de abastecimiento de estiércol. En la parte inferior se encuentra la tubería de descarga. En la *Figura 30* se muestra el diseño del biodigestor vertical.

La ventaja del biodigestor vertical es su geometría, facilita el armado del tanque y la instalación de equipos, por tanto, el costo de inversión no es muy elevado, la operación del equipo es sencilla, no requiere de personal calificado, el material empleado lo hace más resistente que del resto de biodigestor, además de tener un buen factor de seguridad en su operatividad y diseño.

La desventaja que presenta el biodigestor, demanda la instalación de aislamiento térmico, para evitar las pérdidas de calor y mantener la eficiencia de producción de biogás.



**Figura 30.** Biodigestor anaeróbico vertical.

**Fuente:** Propia

### 3.2.3.2. *Selección del Concepto de Diseño.*

Se establecieron los criterios de diseño indicados en la *Tabla 6*. Mediante una matriz ponderada se realizó la selección del concepto más óptimo de diseño del biodigestor anaeróbico que se va a emplear para generar biogás y satisfacer las necesidades energéticas de los pobladores del caserío la Zanja. Los criterios de evaluación son los siguientes:

**Costo:** Este criterio nos permite evaluar la inversión que se necesitaría para fabricar el biodigestor y sus diferentes sistemas asociados al mismo.

**Mantenimiento:** Este criterio nos permite evaluar la correcta funcionabilidad del equipo, mediante la realización de un adecuado mantenimiento.

**Operatividad:** Este criterio permite evaluar el control del equipo y a la vez la productividad del mismo.

**Geometría:** Este criterio nos permite evaluar la adaptabilidad del equipo ante la instalación de otros sistemas.

**Seguridad:** Este criterio nos permite evaluar la seguridad de diseño del biodigestor anaeróbico.

Los resultados de la selección del diseño más óptimo se encuentran en la *Tabla 8*, se determinó que el biodigestor anaeróbico vertical con geometría de domo toriesférica y cámara de fermentación cilíndrico con fondo cónico es el diseño más adecuado. Por tanto, el concepto seleccionado nos será de mucha utilidad en el desarrollo conceptual del diseño paramétrico del biodigestor.

### 3.2.3.3. *Procedimiento*

A cada criterio de evaluación se le asignó un valor en porcentaje, según la importancia obtenida de las recomendaciones de diseño mostrados en la *Tabla 4*. Los porcentajes dados a cada criterio son mostrados en la *Tabla 6*, siendo los criterios de selección el costo, mantenimiento, operatividad, geometría y seguridad, estos criterios evaluarán los seis diseños conceptuales descritos en la *Sección 3.2.4*.

A los diferentes criterios de selección se les asignó una puntuación (*Ver Tabla 7*), siendo estos: Poco satisfecho (1), Satisfecho (2) y Muy Satisfecho (3).

El valor ponderado se obtiene multiplicando la puntuación y el porcentaje (%) dado a cada criterio de selección, este valor es dividido por el total de porcentaje obtenido de los criterios.

**Tabla 6**

*Indicadores de criterios ponderados.*

**Fuente:** Propia

INDICADORES	
CRITERIO	PONDERADO (%)
Costo	20
Mantenimiento	20
Operatividad	30
Geometría	15
Seguridad	15
Total	100

**Tabla 7**

*Puntuación de los criterios ponderados.*

**Fuente:** Propia

INDICADORES	
PUNTUACIÓN	EXPLICACIÓN
1	Poco satisfecho
2	Satisfecho
3	Muy satisfecho

**Tabla 8***Matriz ponderada de selección de la alternativa más óptima de diseño.***Fuente:** Propia

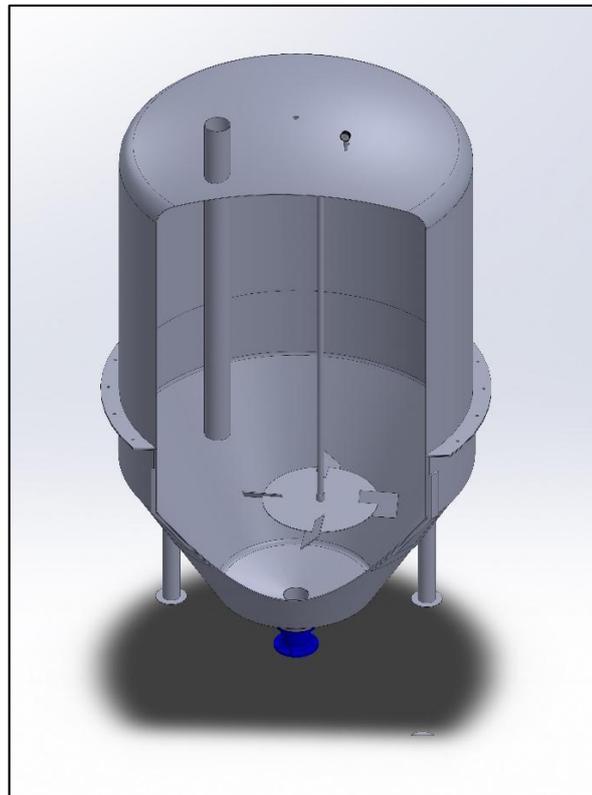
<b>DISEÑO DE BIODIGESTOR ANAEROBICO</b>		<b>BIODIGESTOR TIPO CHINO</b>		<b>BIODIGESTOR TIPO HINDU</b>		<b>BIODIGESTOR TIPO BATCH</b>		<b>BIODIGESTOR TUBULAR</b>		<b>BIODIGESTOR ANAEROBICO HORIZONTAL</b>		<b>BIODIGESTOR ANAEROBICO VERTICAL</b>	
criterio	Ponderado (%)	Puntuación	Puntuación Ponderado	Puntuación	Puntuación Ponderado	Puntuación	Puntuación Ponderado	Puntuación	Puntuación Ponderado	Puntuación	Puntuación Ponderado	Puntuación	Puntuación Ponderado
Costo	20	2	0.4	1	0.2	2	0.4	3	0.6	2	0.4	2	0.4
Mantenimiento	20	1	0.2	1	0.2	2	0.4	3	0.6	1	0.2	3	0.6
Operatividad	30	1	0.3	1	0.3	1	0.3	2	0.6	3	0.9	3	0.9
Geometría	15	1	0.15	1	0.15	1	0.15	1	0.15	2	0.3	2	0.3
Seguridad	15	2	0.3	2	0.3	3	0.45	2	0.3	3	0.45	3	0.45
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>7</b>	<b>1.35</b>	<b>6</b>	<b>1.15</b>	<b>9</b>	<b>1.7</b>	<b>11</b>	<b>2.25</b>	<b>11</b>	<b>2.25</b>	<b>13</b>	<b>2.65</b>

### 3.2.4. Diseño de la configuración alternativa

Después de evaluar los conceptos de diseño presentados en la *Sección 3.2.3*, se determinó que el *Concepto 6* es el modelo más óptimo para diseñar nuestro biodigestor, en esta parte de la tesis se realizó el diseño de las siguientes 3 configuraciones para nuestro agitador y son como se muestra a continuación:

#### **Configuración N° 01:**

Esta configuración consiste de un agitador impulsado por un motor eléctrico, el rodete consiste con 4 alabes inclinados a  $45^\circ$ . La instalación del agitador excéntrico permite la mezcla de estiércol sea expulsado al fondo del tanque consiguiendo que esta ascienda a la parte superior por medio de las paredes del tanque. La desventaja es que este efecto necesita que el fondo del tanque sea semiesférico, esto hace que los costos de fabricación sean más elevados. La manera de cómo es instalado este tipo de agitadores de muestra en la *Figura 31*.

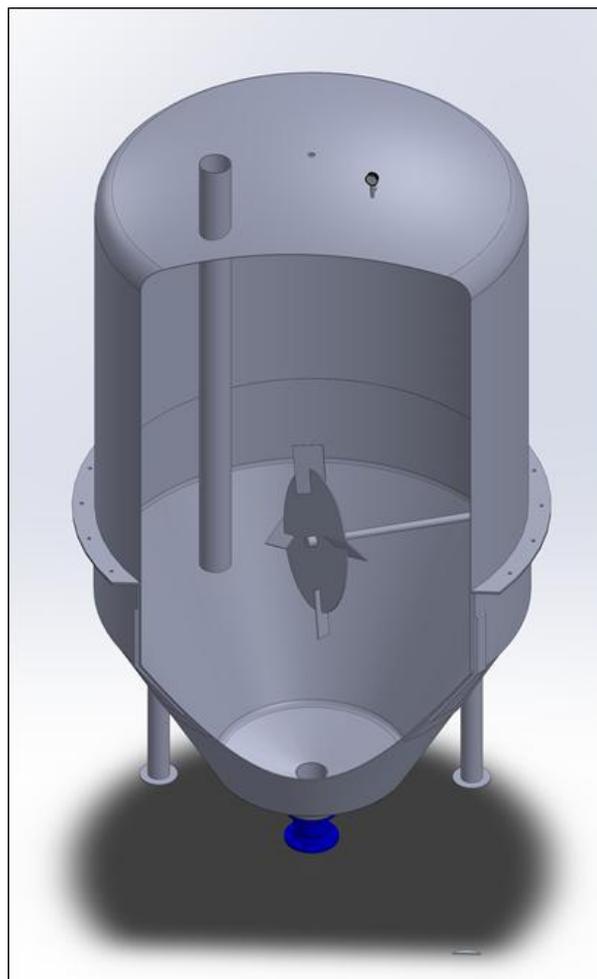


**Figura 31.** Agitador con eje excéntrico.

**Fuente:** Propia

### **Configuración N° 02:**

En esta configuración, el agitador se instala excéntricamente en el lado lateral del tanque. El rodete mezcla el estiércol y agua de forma circular haciendo que esta sea de manera homogénea. La desventaja de instalar el agitador en esta posición es que el flujo es empujado hacia el fondo del tanque, haciendo que los esfuerzos se concentren en la parte inferior del mismo, esto ocasionaría que los espesores varíen y en tanto los costos de los materiales también. En la *Figura 32* se muestra la forma de cómo es instalado el agitador.

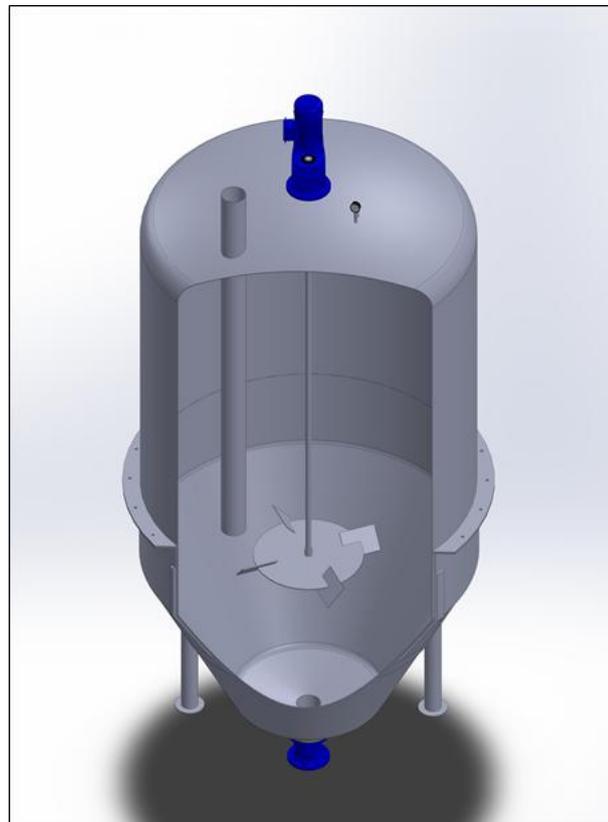


***Figura 32.*** Agitador Instalado excéntricamente en el lado lateral del tanque

***Fuente:*** Propia

### **Configuración N° 03:**

Esta configuración consiste en instalar el agitador en la parte central de la tapa del tanque, el rodete de este agitador está conformado por placas metálicas que funcionan como alabes, inclinados a 45°. Por su posición central produce buen flujo radial en el plano del rodete dividiendo el flujo hacia la pared para formar dos modelos distintos de circulación. Por su posición se adecua mejor que las anteriores configuraciones, son fáciles de fabricar y ensamblar. La desventaja, se limita a trabajar a baja velocidad de giro. En la *Figura 33* se muestra la posición del agitador.



**Figura 33.** Instalación concéntrica del eje de agitador.

**Fuente:** Propia

En la *Tabla 9*, se muestra los porcentajes dados a cada criterio de selección. A cada criterio de selección se les asigno una puntuación, siendo estos: Poco satisfecho (1), Satisfecho (2) y Muy Satisfecho (3) y el valor ponderado se obtiene multiplicando la puntuación por el porcentaje (%) dado a cada criterio de selección, dividido por el porcentaje total. En la *Tabla 10*, se muestra la matriz de selección, se obtuvo que la *Configuración N° 3*, siendo está la posición más ideal para instalar nuestro agitador.

**Tabla 9**

*Puntuación de criterios ponderados.*

**Fuente:** Propia

INDICADORES	
CRITERIO	PONDERADO (%)
Posición	45
Funcionalidad	35
Instalación – Costo	20
Total	100

**Tabla 10**

*Matriz de selección.*

**Fuente:** Propia

POSICIÓN DEL AGITADOR	Configuración	Configuración			Configuración		
		1	2	3	3	2	1
CRITERIO	Importancia (%)	Puntuación ponderada	Puntuación	Puntuación ponderada	Puntuación	Puntuación ponderada	Puntuación
POSICIÓN	45	2	0.9	1	0.45	3	0.9
FUNCIONALIDAD	35	2	0.7	1	0.35	2	0.7
INSTALACIÓN	20	1	0.2	1	0.20	2	0.4
TOTAL	100		1.8		1.0		2.0

### 3.3. Dimensionamiento del Biodigestor.

#### 3.3.1. Procedimiento de Cálculo del Dimensionamiento del Biodigestor.

Después de realizar el diseño conceptual y seleccionando el concepto más óptimo mediante la matriz de selección, se procedió a definir las dimensiones generales del biodigestor, apoyándonos de las recomendaciones de diseño y de las especificaciones de ingeniería.

En el *Anexo N° 6*, se muestra el procedimiento de cálculo. Mediante la implementación de una GUI se realizó el procedimiento para determinar los parámetros de diseño de nuestro biodigestor.

A la relación diámetro vs altura de la cámara de fermentación, “X” es un factor muy importante en el procedimiento de diseño del biodigestor, a “X” se le dio valores (cualesquiera) según a las dimensiones deseadas de los autores. En las *Figuras 34 y 35* se muestran ejemplos de cálculos realizados mediante uso del programa Excel cuando los valores de consumo eléctrico son de 557.56 kWh/mes y 875 kWh/mes.

X	Vd	Vcf	Vc	Hcf	Dcf	Rcf	Rc	Hc	Vc	Vsc	Vcf	Vd	Error Vd	Le
0.95	12.4	9.3	3.1	2.358569	2.240641	1.12032	2.611124	0.252554	0.506354	2.537187	9.3	12.34354	-0.46%	1.073154
0.955	12.4	9.3	3.1	2.35033	2.244565	1.122282	2.604528	0.254199	0.511519	2.552653	9.3	12.36417	-0.29%	1.076549
0.96	12.4	9.3	3.1	2.342162	2.248475	1.124238	2.598005	0.255844	0.516706	2.568124	9.3	12.38483	-0.12%	1.079931
0.965	12.4	9.3	3.1	2.334064	2.252372	1.126186	2.591554	0.25749	0.521918	2.583601	9.3	12.40552	0.04%	1.083302
0.97	12.4	9.3	3.1	2.326037	2.256255	1.128128	2.585173	0.259136	0.527153	2.599084	9.3	12.42624	0.21%	1.086661
0.975	12.4	9.3	3.1	2.318077	2.260126	1.130063	2.578861	0.260784	0.532411	2.614573	9.3	12.44698	0.38%	1.090009
0.98	12.4	9.3	3.1	2.310186	2.263982	1.131991	2.572618	0.262432	0.537693	2.630067	9.3	12.46776	0.55%	1.093345
0.985	12.4	9.3	3.1	2.302362	2.267826	1.133913	2.566443	0.264081	0.542998	2.645567	9.3	12.48857	0.71%	1.096667
0.99	12.4	9.3	3.1	2.294603	2.271657	1.135828	2.560334	0.265731	0.548327	2.661072	9.3	12.5094	0.88%	1.099983

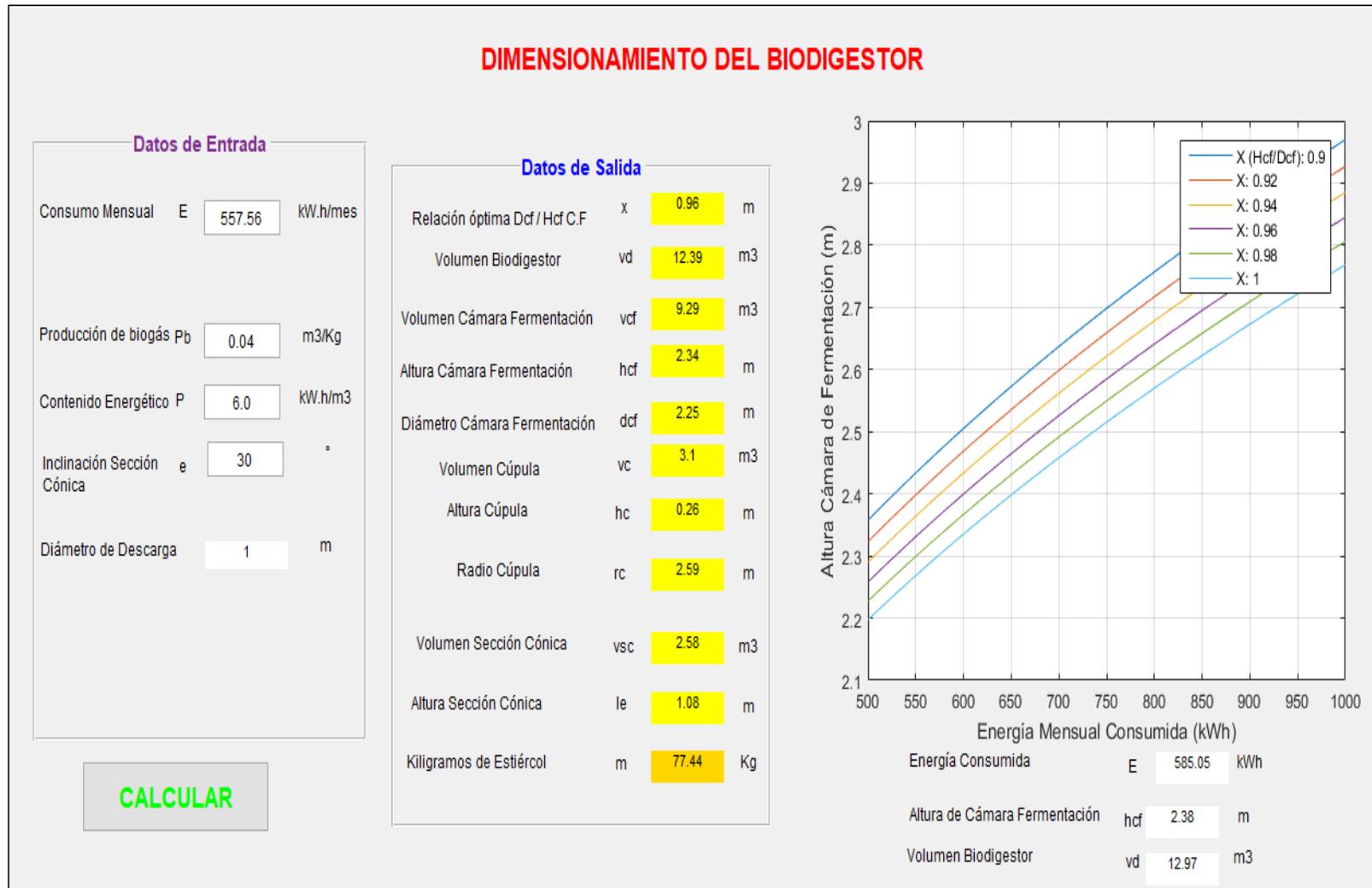
**Figura 34.** Cálculo de dimensionamiento del biodigestor a 557.56 KWh/mes.

**Fuente:** Propia

X	Vd	Vcf	Vc	Hcf	Dcf	Rcf	Rc	Hc	Vc	Vsc	Vcf	Vd	Error	Le
0.91	19.44	14.58	4.86	2.81964837	2.56588002	1.28294001	3.09779793	0.27814956	0.73040353	4.03383312	14.58	19.3442366	-0.0049261	1.35448622
0.915	19.44	14.58	4.86	2.80936705	2.57057085	1.28528543	3.08941772	0.28005067	0.73820112	4.05877133	14.58	19.3769724	-0.00324216	1.35854379
0.92	19.44	14.58	4.86	2.79917894	2.57524463	1.28762231	3.08113193	0.28195299	0.7460363	4.08371864	14.58	19.4097549	-0.00155582	1.3625866
0.925	19.44	14.58	4.86	2.7890827	2.5799015	1.28995075	3.07293919	0.28385649	0.753909	4.108675	14.58	19.442584	0.00013292	1.3666148
0.93	19.44	14.58	4.86	2.77907701	2.58454162	1.29227081	3.06483815	0.28576114	0.76181915	4.13364034	14.58	19.4754595	0.00182405	1.3706285
0.935	19.44	14.58	4.86	2.76916058	2.58916514	1.29458257	3.0568275	0.28766692	0.76976667	4.15861462	14.58	19.5083813	0.00351756	1.37462785
0.94	19.44	14.58	4.86	2.75933213	2.59377221	1.2968861	3.04890593	0.2895738	0.77775149	4.18359779	14.58	19.5413493	0.00521344	1.37861296

**Figura 35.** Cálculo de dimensionamiento del biodigestor a 875 KWh/mes.

**Fuente:** Propia



**Figura 36.** GUI de dimensionamiento del biodigestor  
*Fuente:* Propia

Siguiendo la secuencia de fórmulas descritas en la *Sección 1.3.10.2* por el autor Campos (Campos, 2011), calculamos las dimensiones del tanque biodigestor según la relación “X”, diámetro vs altura de la cámara de fermentación mediante una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI), la cual está dividida en 2 bloques. El primer bloque ingresamos datos, tales como, el consumo mensual promedio de energía en toda la localidad (KWh/mes), la producción en unidades de volumen por cada kilogramo del biogás ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ), el contenido energético del biogás por unidad de volumen ( $\text{KWh}/\text{m}^3$ ) (Ver *Figura 13*). El segundo bloque contiene los parámetros geométricos que definen las dimensiones del tanque del biodigestor y la cantidad de estiércol para cubrir el consumo energético promedio de la localidad. Por último, en la GUI también se presenta un gráfico paramétrico de la altura de la cámara de fermentación vs la energía mensual consumida, teniendo como parámetro la relación geométrica X, en ella mediante el cursor del mouse, seleccionamos la línea para el valor de “X” ver la *Figura 34* y la GUI calculara las dimensiones requeridas para el tanque biodigestor y la cantidad de estiércol para producir biogás. La imagen de la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) se puede observar en la *Figura 36*. Los cálculos se aprecian en el *Anexo N°6*. Los resultados se detallan a continuación:

El volumen total del biodigestor es de 12.4  $\text{m}^3$ , los cuales están divididos de la siguiente manera, la cámara de fermentación comprendida entre la parte cilíndrica y la sección cónica abarca 9.3  $\text{m}^3$ , mientras que la cúpula 3.1  $\text{m}^3$ , siendo este el volumen requerido de biogás para producir energía eléctrica al caserío.

La sección cilíndrica tiene un diámetro de 2.25 m, mientras que la sección tronco cónica tiene una longitud de 1.08 m, una gradiente de  $30^\circ$ , el radio menor de la sección tronco cónica corresponde a 1 m de diámetro. La cúpula tiene una altura de 0.26 m, el radio de la sección toriesférica 2.6 m, el radio menor de la cúpula es 0.1545 m.

El factor “M” es equivalente a 1.44, se consideró el tipo de junta de soldadura a tope, con eficiencia “E” de 0.6, la tabla de eficiencias de soldadura se ubica en el *Anexo N° 7*. La presión de operación del biodigestor es de 1 bar (14.5 PSI), este dato se obtuvo de las recomendaciones de diseño de la *Sección 3.2.1*, debido al ambiente corrosivo del acero, se consideró el margen por corrosión de 0.125 pulgadas (3.175 mm). Teniendo estos datos, se calculó el espesor de la cámara de fermentación siendo este de 4.37 mm, mientras tanto, para la cúpula de 3.84 mm.

Tratando de uniformizar el espesor de las paredes del biodigestor, seleccionamos el espesor más cercano comercialmente de 4.5 mm.

La cantidad de estiércol necesario para abastecer de biogás al caserío la Zanja es de 77.44 Kg.

### **3.3.2. Seleccionar los materiales para la construcción.**

Haciendo uso de las recomendaciones de diseño de la *Tabla 4* y del criterio ingenieril, se seleccionaron los tipos de materiales que utilizaríamos para construir el biodigestor.

#### ***3.3.2.1. Selección de las tuberías de salida del biogás***

De las recomendaciones de diseño se extrae información valiosa para seleccionar las tuberías para el transporte del biogás, debido a su poder anticorrosivo, se recomienda utilizar tuberías de PVC para mayor durabilidad, bajo costo y fácil instalación. (Obando, 2009).

#### ***3.3.2.2. Selección de materiales para la construcción del biodigestor.***

El tanque biodigestor estará propenso a ataques corrosivos debido a los sulfuros que contiene el biogás. El material que se utilizara para la construcción del biodigestor, debe poseer alta resistencia ante la corrosión, el mismo que seleccionaremos para el eje del agitador, rodete y palas. Entre las opciones de aceros resistentes a la corrosión, se encuentra la serie austenítica AISI A304 y A316. Ambos aceros están compuestos de cromo y níquel, el acero AISI A304, posee alta resistencia a la corrosión, la diferencia del acero AISI A316 es que contiene molibdeno y lo hace más resistente ante ambientes salinos.

Finalmente se opta por seleccionar al acero AISI A304, su utilidad está basada a la construcción de estructuras metálicas, debido que el biodigestor no será instalado en zonas con altas concentraciones salinas, no será necesario construir el biodigestor con el acero AISI A316. El acero AISI A304 es más barato que el acero AISI A316. En la *Tabla 11*, se aprecian las especificaciones técnicas de los aceros AISI A304 y A316.

**Tabla 11**

*Especificaciones Técnicas del Acero AISI A304 y A316. Ver Anexo*

**Fuente:** MatWeb (2019).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE		SERIE A304 Cromo – Níquel	SERIE A316 Cromo – Níquel – Molibdeno	
<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>	C ≤ 0.08%*	C ≤ 0.08%*	
		Si ≤ 1.00%	Si ≤ 1.00%	
		Mn ≤ 2.00%	Mn ≤ 2.00%	
		Cr 18% - 20%*	Cr 16% - 18%*	
		Ni 8% – 10,5%*	Ni 10% – 14%* Mo 2% – 2.5%*	
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	Peso específico a 20 °C (Densidad)	(g/cm <sup>3</sup> ) 7.9	7.95 – 7.98	
	Módulo de elasticidad	(N/mm <sup>2</sup> ) 193,000	193,000	
	Estructura	---	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO
	Calor específico a 20 °C	(J/Kg K) 500	500	500
	Conductividad térmica a 20 °C/ 100 °C	(W/m K) 15 / 16	15 / 16	15 / 16
	Coefficiente de dilatación a 100 °C	(x10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup> ) 16.0 – 17.30	16.02 – 16.5	16.02 – 16.5
	Dureza Brinell recocido HRB / con deformación en frío	---	130150 / 180330	130185 / -
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS A 20 °C</b>	Resistencia a la tracción recocido / Deformación en frío	Rm (N/mm <sup>2</sup> ) 520 – 720 / 540 – 750	540690 / -	
	Elongación (5 min.)	(%) ≥ 45	-	
	Resiliencia KCUL / KVL	(J/cm <sup>2</sup> ) 160 / 180	160 / 180	
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>		<b>METRICAS</b>	<b>ENGLISH</b>	

<b>DENSIDAD</b>	8.00 g/cc	0.289 lb/in <sup>3</sup>
<b>RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ULTIMO</b>	515 MPa	74700 psi
<b>LIMITE DE RESISTENCIA A LA FLUENCIA</b>	205 MPa	29700 psi
<b>MODULO DE ELASTISIDAD</b>	193 GPa	11200 Ksi
<b>COEFICIENTE DE POISSON</b>	0.29	0.29
<b>MODULO DE CORTE</b>	77.0 GPa	11200 Ksi

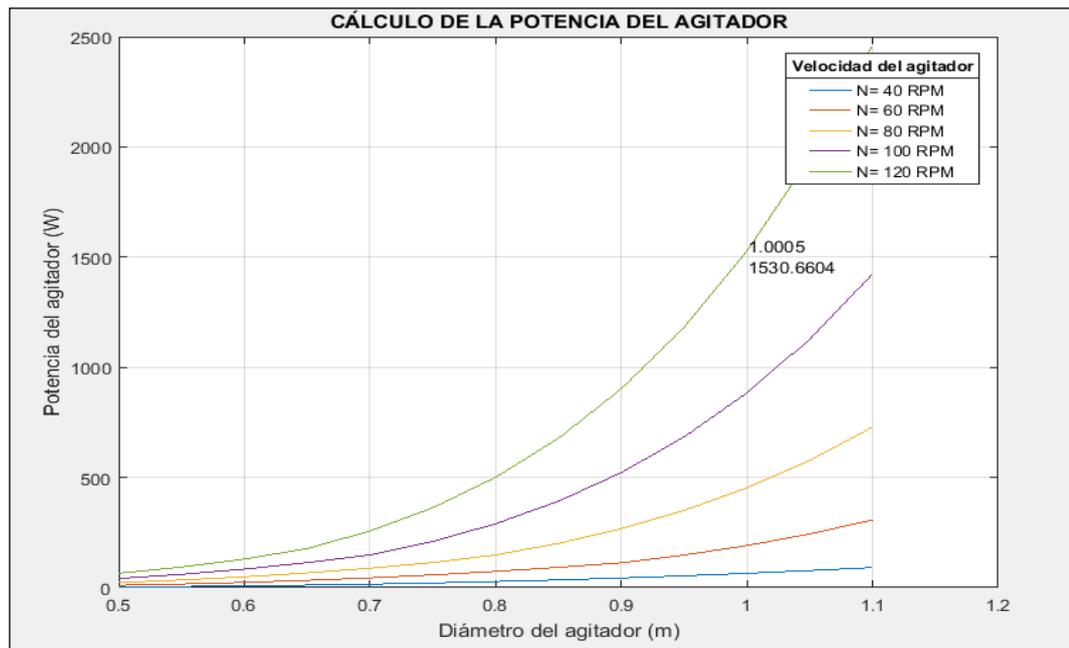
### 3.3.3. Diseño paramétrico del agitador.

Para realizar el diseño paramétrico del sistema agitador, hemos recurrido a nuestro procedimiento de cálculo descrito en la *Sección 1.3.10.4*, en el *Anexo 7* se encuentra el cálculo realizado para determinar el diámetro del eje del agitador. Se emplearon los Software de diseño de ingeniería, Matlab – GUI y Ansys para corroborar los cálculos analíticos.

Los resultados de los cálculos realizados comienzan analizando las características geométricas del rodete del agitador. Siendo el diámetro del rodete de 0.75 m, las palas con dimensiones de 0.25 m de largo y alto 0.167 m, la profundidad del rodete respecto a la cúpula de 2.68 m. La potencia requerida para el rodete 1527.405 W o 2.08 HP, por recomendaciones de diseño, las velocidades de giro son de 60 a 120 RPM.

#### 3.3.3.1. Análisis paramétrico del agitador.

En el *Anexo 7* se encuentra la secuencia de cálculo para determinar la potencia requerida por el agitador. Estos cálculos fueron procesados y los resultados se muestran en la *Figura 37*, donde para un impulsor de 1m de diámetro girando a una velocidad de 120 RPM la potencia necesaria es 1.53 KW (2.08 HP).



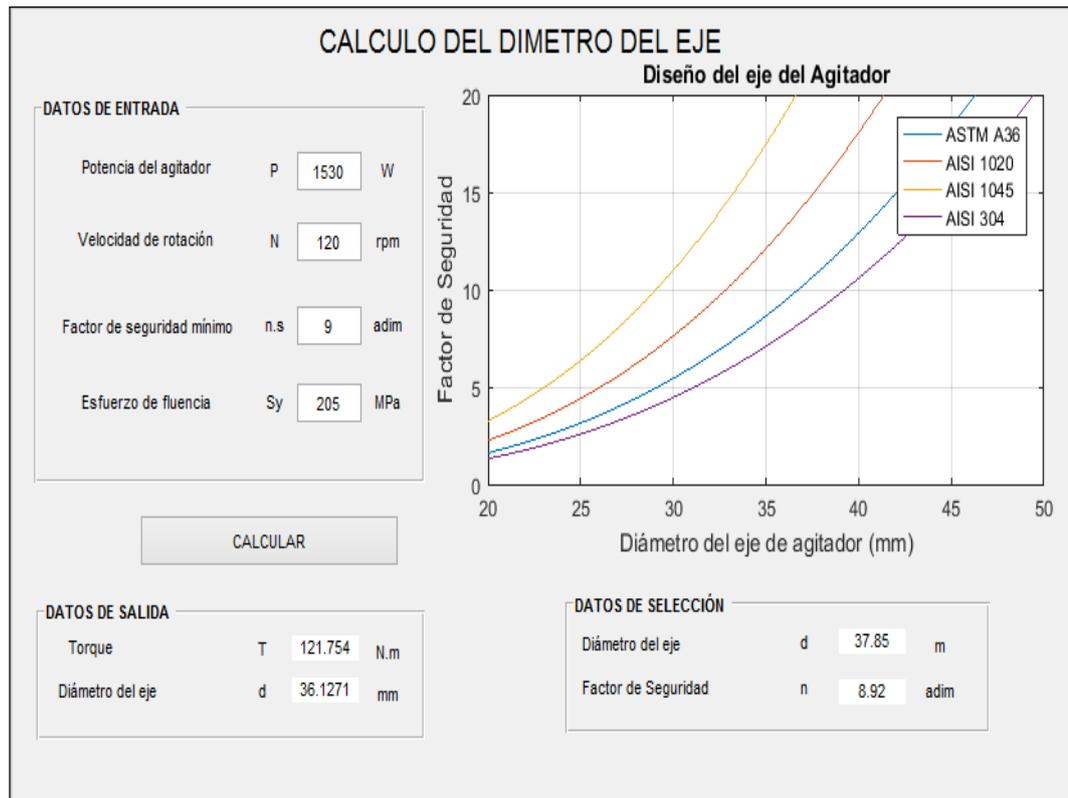
**Figura 37.** Cálculo de potencia del Agitador  
**Fuente:** Propia

### 3.3.4. Diseño paramétrico del eje

Para obtener el diámetro apropiado del eje del agitador se elaboró un GUI empleando el software de MATLAB el cual da el Factor de Seguridad en función del diámetro del impulsor y tomando como parámetro la resistencia de los aceros ASTM A36, AISI 304, AISI 1020 y el AISI 1045. Para efectos de comparación se elaboró la selección del diámetro del eje para dos valores específicos de factores de seguridad 5 y 9.

#### 3.3.4.1. Análisis Paramétrico para un factor de seguridad de 9

En la *Figura 38*, se muestra que para el acero AISI 304 y tomando un diámetro 37.85 mm se obtiene un factor de seguridad de 8.92 el cual es un valor bastante alto y permite lograr un diseño robusto para el eje. Como el diámetro seleccionado no es un valor estándar se tomó el valor inmediato superior estandarizado que es 38.1 mm (1.5 pulgadas) con el que se obtiene un factor de seguridad mayor a 9.

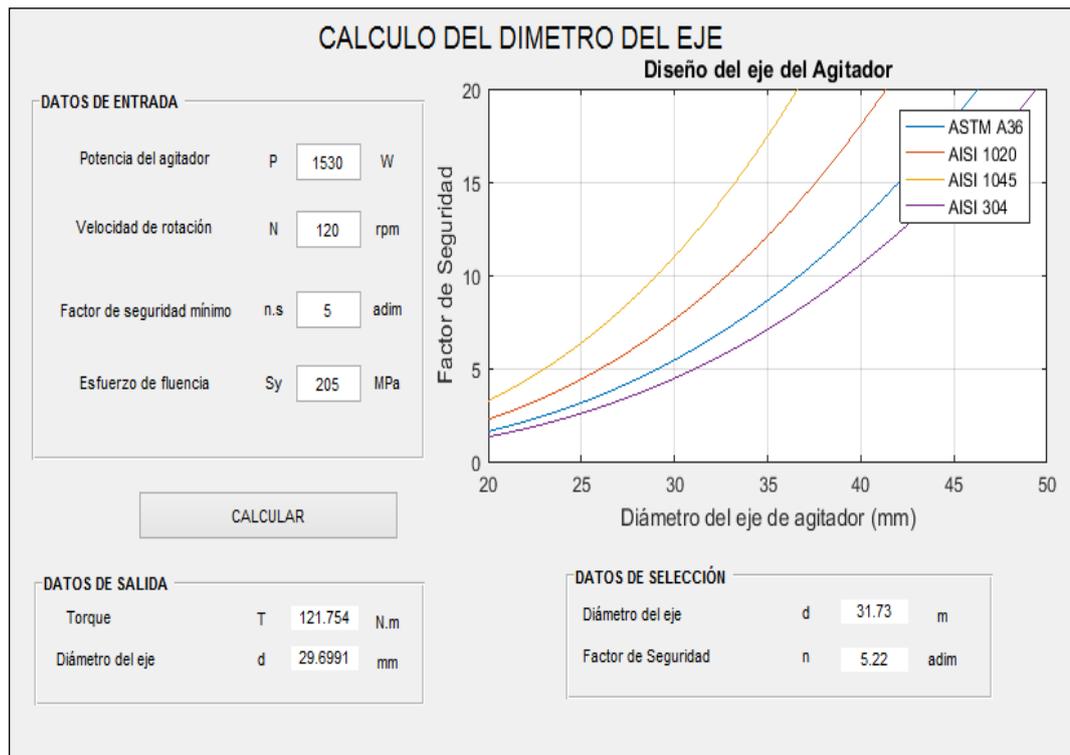


**Figura 38.** GUI eje del agitador para un diámetro de 1 1/2 pulgadas (38.1 mm)

**Fuente:** Propia

**3.3.4.2. Análisis Paramétrico para un factor de seguridad de 5.**

En la *Figura 39*, se muestra que para el acero AISI 304 y tomando un diámetro 31.73 mm se obtiene un factor de seguridad de 5.22 el cual es un valor más bajo comparado con el análisis anterior logrando así disminuir el costo del agitador. Como el diámetro seleccionado no es un valor estándar se toma el valor inmediato superior estandarizado que es 31.75 mm (1 1/4” pulgadas) con el que se obtiene un factor de seguridad mayor a 5.



**Figura 39.** GUI eje del agitador para un diámetro de 1 1/4 pulgadas (31.75 mm)

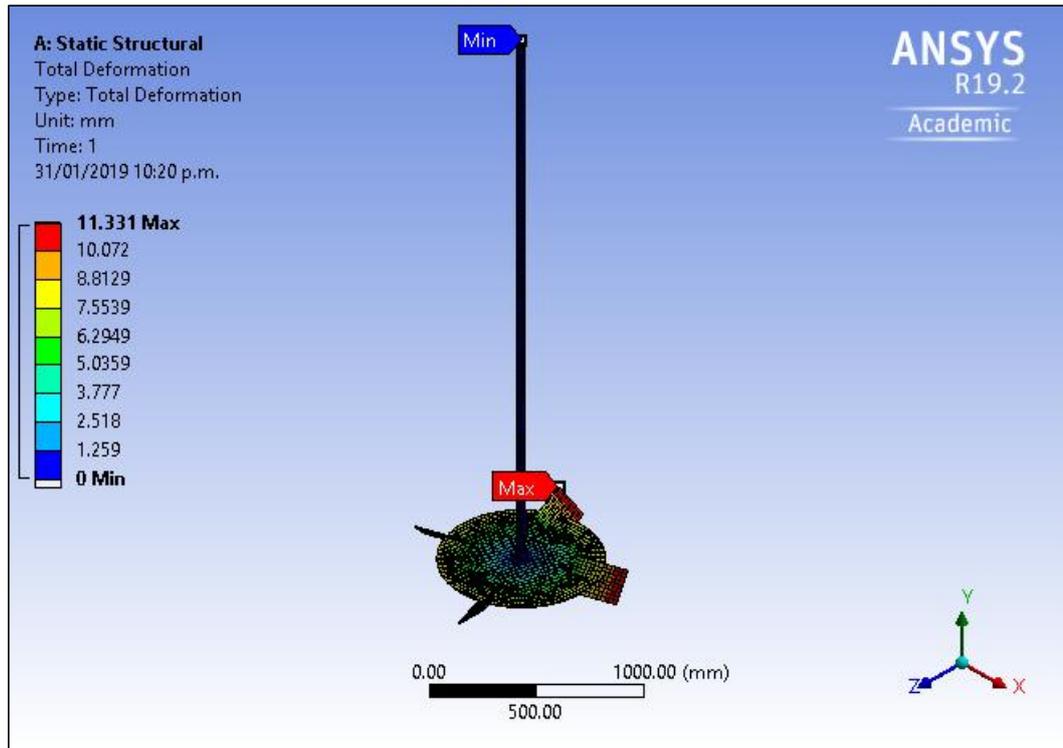
**Fuente:** Propia

### 3.3.5. Simulación del eje en ANSYS

#### 3.3.5.1. Simulación para el eje agitador con diámetro de 1 1/2 pulgadas (38.1 mm).

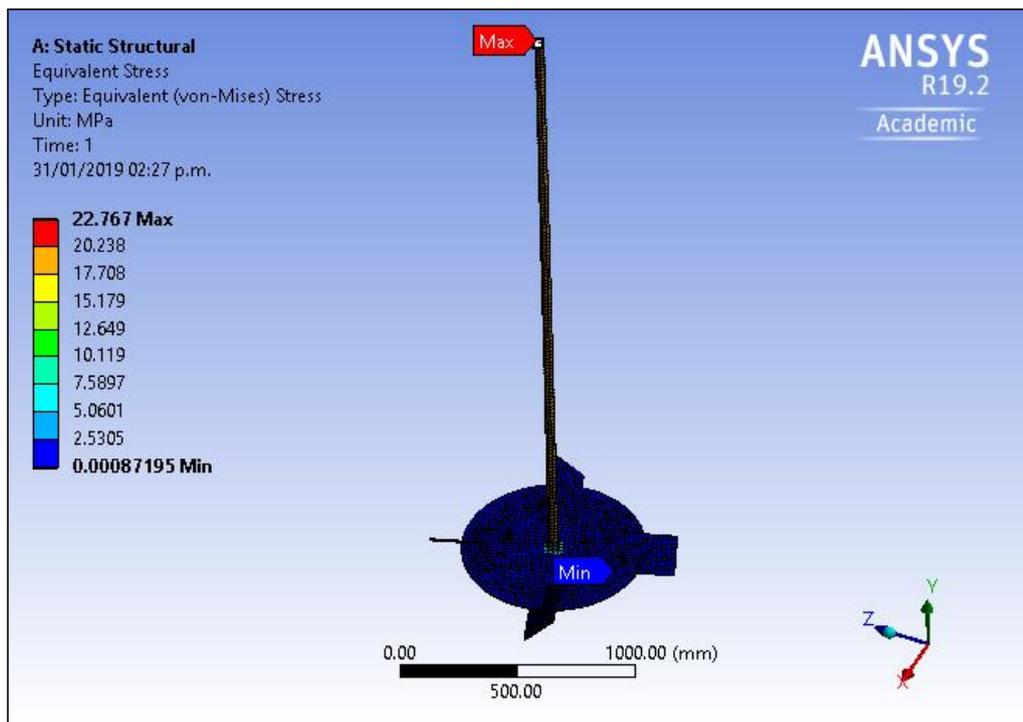
Para elaborar la simulación del eje del agitador se tomó el acero AISI 304 del análisis paramétrico ingresando los valores del esfuerzo de fluencia ( $S_y = 205 \text{ MPa}$ ), el esfuerzo último a la tracción ( $S_{ut} = 205 \text{ MPa}$ ) y la densidad ( $\rho = 7900 \text{ kg/m}^3$ ) (Ver Tabla 11). El eje del agitador está directamente acoplado al motorreductor y debe soportar el torque generado por este. Del Anexo 8 el torque requerido es  $T = 125.47 \text{ N.m}$  y se aplica en las aletas del agitador para determinar el esfuerzo y el factor de seguridad del eje durante la condición de operación normal.

De los resultados de la simulación para el eje del agitador con un diámetro de 1 1/2 pulgadas se obtuvo que la deformación máxima es 11.331 mm y se da en las aletas, por otra parte, el valor del máximo esfuerzo es 22.767 MPa con un factor de seguridad de 9 y se da en la parte superior del eje donde se acopla con el motorreductor. La deformación máxima, el esfuerzo máximo y el factor de seguridad se pueden ver desde las Figuras 40 a la 42.



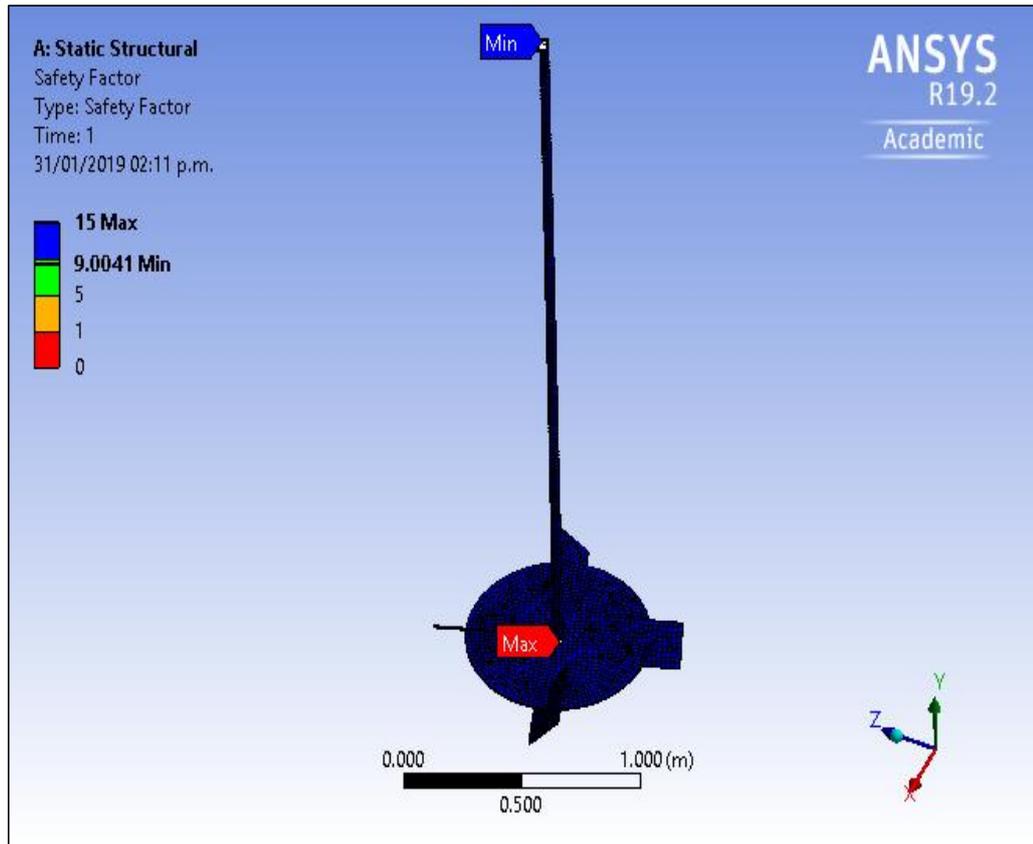
**Figura 40.** Resultado de la deformación para la simulación del agitador

**Fuente:** Propia



**Figura 41.** Resultado de deformación von-mises para el agitador

**Fuente:** Propia

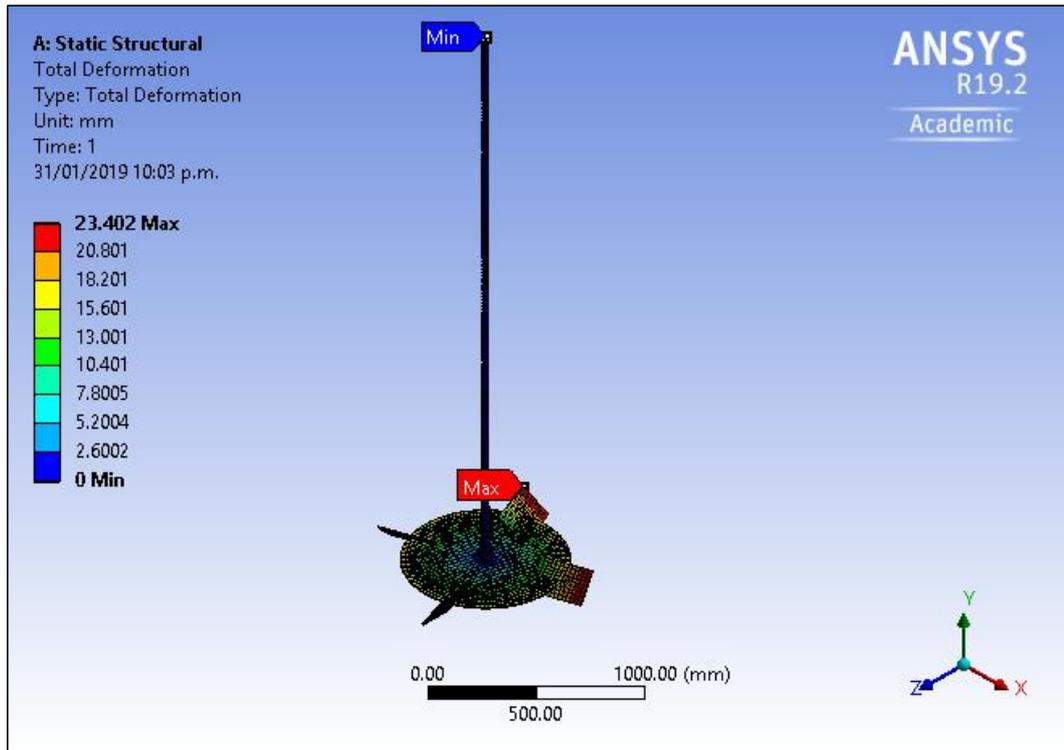


**Figura 42.** Resultado del factor de seguridad para la simulación del agitador

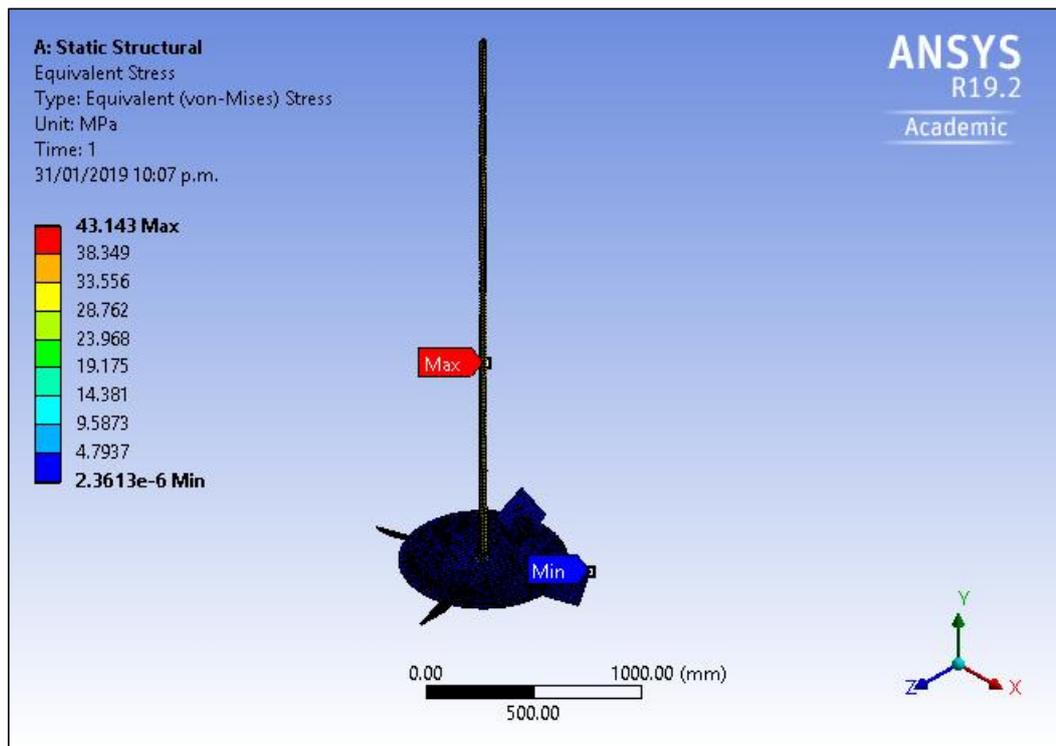
**Fuente:** Propia

**3.3.5.2. Simulación para el eje del agitador con diámetro de 1 1/4 pulgadas (31.75 mm)**

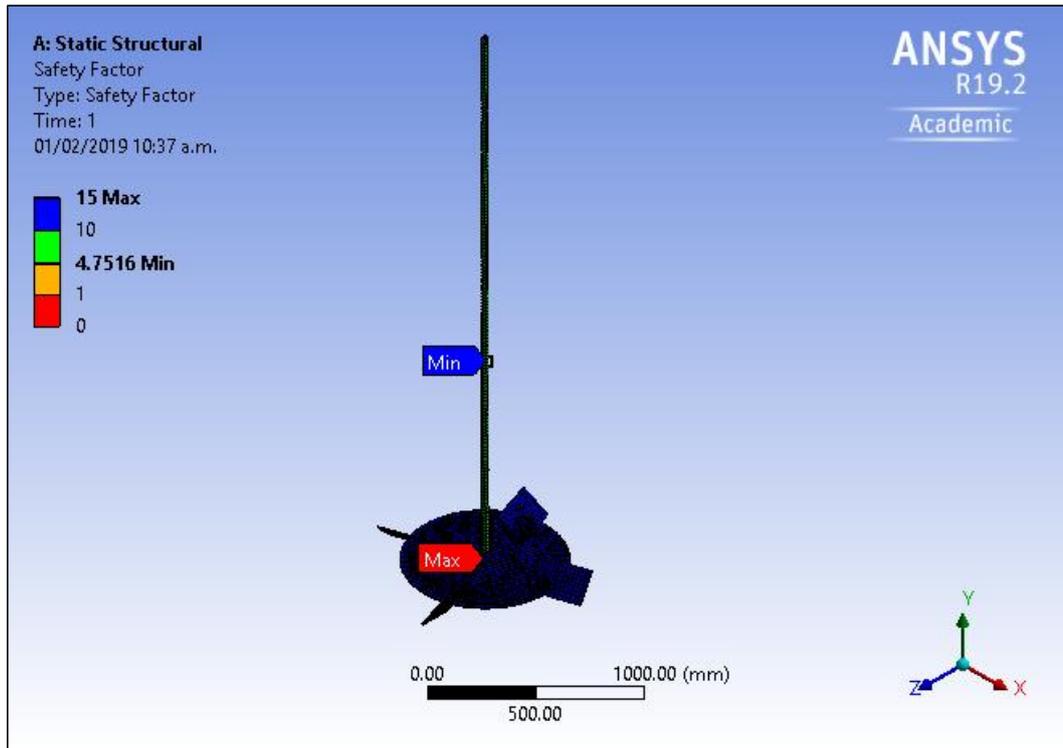
Para el eje del agitador con un diámetro de 1 1/4 pulgadas se obtuvo que la deformación máxima es 23.402 mm y se da igualmente en las aletas, además el valor del esfuerzo máximo es 43.143 Mpa y el factor de seguridad es 5. Los resultados de la simulación para la deformación máxima, el esfuerzo máximo y el factor de seguridad se pueden ver en las Figuras 43, 44 y 45.



**Figura 43.** Resultado de la deformación para la simulación del agitador  
**Fuente:** Propia



**Figura 44.** Resultado de la deformación von-mises para la simulación del agitador  
**Fuente:** Propia



**Figura 45.** Resultado del factor de seguridad para la simulación del agitador  
**Fuente:** Propia

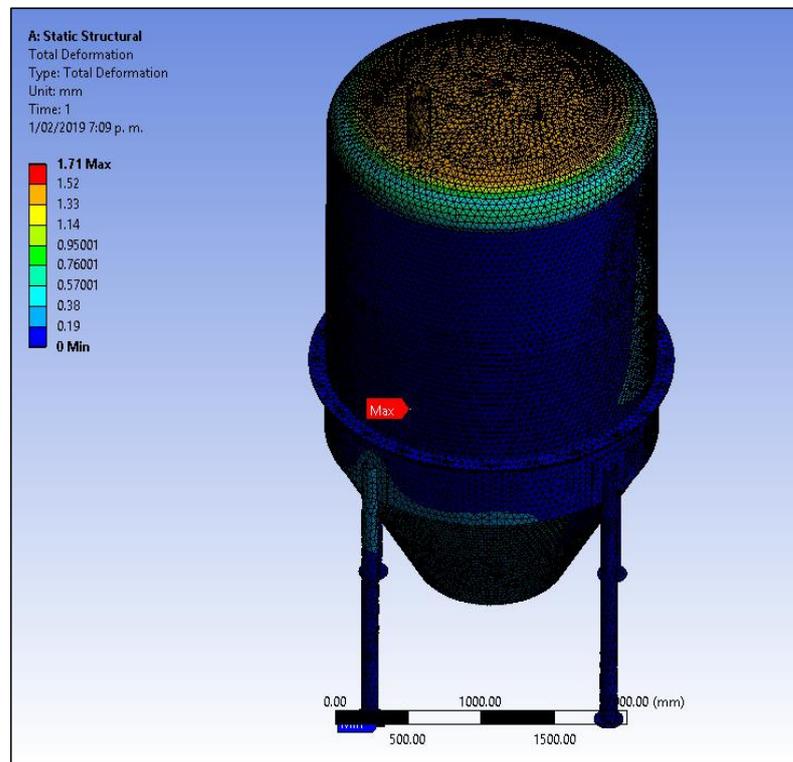
### 3.3.6. Realizar la simulación de estructura del biodigestor.

Para determinar los esfuerzos que se desarrollan en la estructura del tanque biodigestor a causa de la carga del estiércol y la presión interna, se realizó una simulación en software de diseño de estructuras metálicas, donde la presión de trabajo se consideró 1 bar (por recomendaciones de diseño de la sección 3.3).

Para estimar el espesor de las paredes del biodigestor se elaboró un cálculo que se encuentra en el Anexo 6, del cual se obtuvo que dicho espesor debe ser 1.19 mm a lo que se añadió 3.175 mm por el factor de corrosión. Con estos valores se diseñó toda la estructura del biodigestor y se elaboró la simulación para corroborar los resultados analíticos. Los resultados de la simulación para la deformación máxima, los esfuerzos de Von Mises y el Factor de Seguridad se muestran en las Figuras 46, 47 y 48 respectivamente.

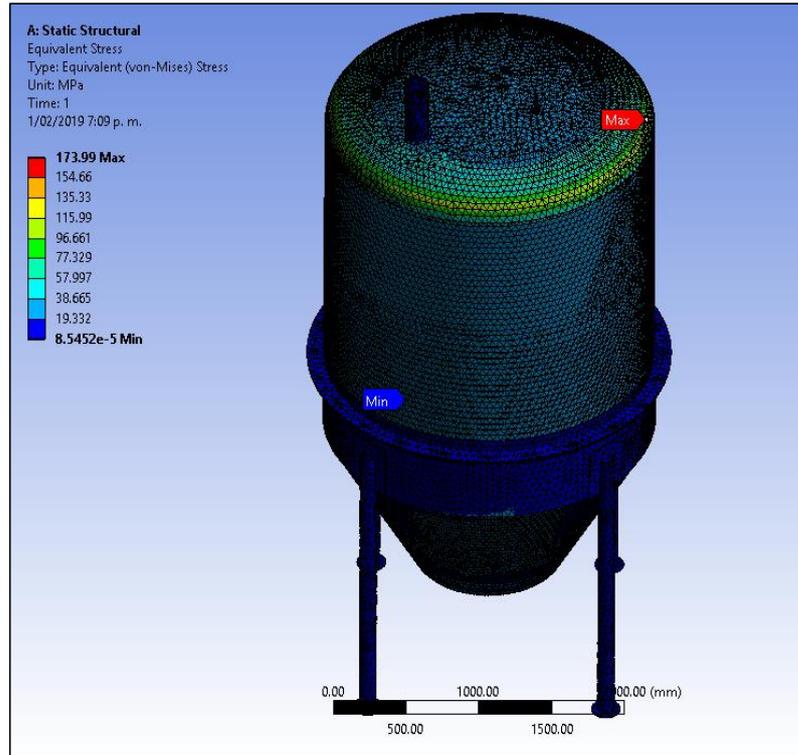
En la figura 46 se observa que la mayor deformación se da en la parte superior de la estructura donde la geometría de la cúpula se encuentra bajo la acción de la presión del biogás. Debido a la forma geométrica los esfuerzos predominantes son de

tracción en el sentido de los paralelos y de compresión en el sentido de los meridianos, por lo cual la deflexión es más pronunciada en el centro de la cúpula y se va reduciendo con forme el diámetro aumenta. La deflexión máxima en la parte superior es de 1.5 mm (región naranja) y se va reduciendo hasta un valor de 0.38 mm (región celeste) en borde exterior de la cúpula. En la Figura 47 el valor máximo del esfuerzo es 173.99 MPa y se da en el borde exterior de la cúpula donde el diámetro de curvatura es de 150 mm, siendo esta una ubicación crítica pues influye directamente con la concentración de esfuerzos en esta zona. Para Figura 48 el factor de seguridad mínimo es 1.4 (zona naranja) y se da en la misma ubicación donde se presenta el esfuerzo máximo, el resto de la estructura del biodigestor presentan factores de seguridad por encima de 5 (zona verde y azul). Con esto se corrobora que el diseño tiene la resistencia estructural necesaria para la soportar la presión de operación para cual ha sido diseñada.

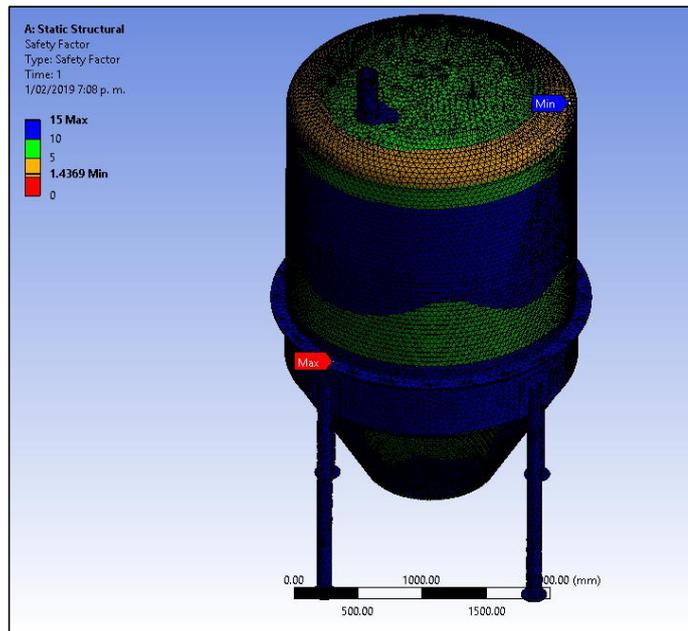


**Figura 46.** Deformación total para la estructura del tanque

**Fuente:** Propia



**Figura 47.** Esfuerzos de Von Mises para la estructura del tanque  
**Fuente:** Propia



**Figura 48.** Factor de Seguridad para la estructura del tanque  
**Fuente:** Propia

### 3.3.7. Realizar el diseño de selección de las partes estándar del equipo.

#### 1. Motorreductor:

Para el diseño del agitador se seleccionó un motorreductor de ejes paralelos, este tipo de reductores conecta el eje del motor y el eje del motorreductor en planos paralelos mediante engranajes, debido a su forma compacta, requiere menos espacio para su instalación.

En la *Figura 49* se muestra el motorreductor de ejes paralelos, los datos técnicos del motorreductor se encuentran en el *Anexo 11*.



**Figura 49.** Motorreductor de ejes paralelos.

**Fuente:** Nord Drivesystems (2018).

#### 2. Tuberías:

De acuerdo a las recomendaciones de diseño vistas en la sección 3.3, se tuvieron en cuenta los diámetros y materiales de las tuberías de carga y descarga del estiércol y de la tubería de salida del biogás. Las tuberías de carga y descarga se consideran el diámetro de 6" de material de acero inoxidable AISI A304. La tubería de salida y conducción del biogás se ha seleccionado el material PVC de 1" diámetro.

En las figuras N 50., se aprecia la tubería de acero inoxidable de 6".



**Figura 50.** Tuberías de acero Inoxidable

**Fuente:** Irestal Group (2018).

### **3. Válvulas:**

Las válvulas que hemos seleccionado para las tuberías de carga y descarga del estiércol son del tipo mariposa de 6" de diámetro y una válvula de bola de 1" para la tubería de salida del biogás. En la *Figura 51*, se aprecia el modelo de válvula de 6" de diámetro a utilizar las tuberías de carga y descarga del tanque biodigestor.



**Figura 51.** Válvula de globo

**Fuente:** Didtek (2018).

### **4. Manómetro:**

Para controlar la presión interna dentro del biodigestor, se seleccionó un manómetro en el rango de 0 a 50 PSI, lleno de glicerina, debido a que están fabricados con acero inoxidable, son muy resistentes en condiciones ambientales muy severas y de alta salinidad. A continuación, se muestra la *Figura 52*, se aprecia el tipo de manómetro a utilizar.



**Figura 52.** Manómetro

**Fuente:** Infra Metron (2018).

### **5. Válvula de Alivio:**

Esta válvula se utilizara en la parte superior del tanque, en la tubería de salida de gas, para mantener la presión de trabajo, se empleara una válvula de alivio de 1 bar con un diámetro de 1". A continuación, se muestra la *Figura 53*, se aprecia el tipo de válvula a utilizar.



**Figura 53.** Válvula de Alivio

**Fuente:** Praxair Technology (2019).

### **3.3.8. Realizar el diseño de detalle.**

Los planos de detalle del biodigestor se encuentran en el *Anexo 12*, donde se puede apreciar el diseño completo del biodigestor en sus diferentes vistas y cotas dimensionales de los elementos que lo componen.

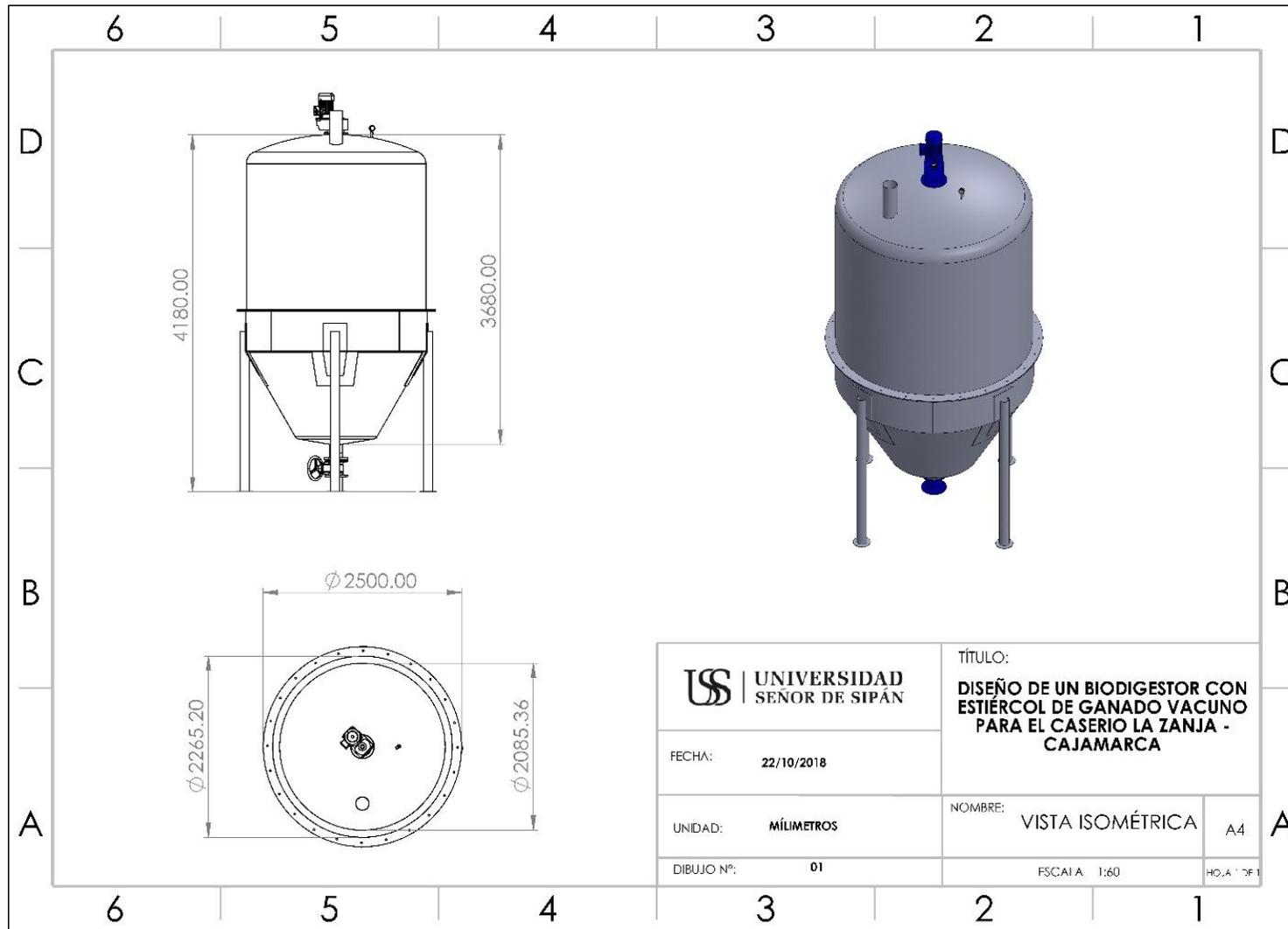
Se han elaborado 07 planos, los cuales se detallan en la tabla N° 13. En la *Figura 54*, se observa en vista isométrica el tanque biodigestor con sus respectivas medidas.

**Tabla 12**

*Listado de planos para el diseño del biodigestor.*

**Fuente:** Propia

<b>N° PLANO</b>	<b>DETALLE</b>	<b>FECHA</b>
01	VISTA ISOMETRICA	22/10/2018
02	CAMARA DE FERMENTACIÓN	22/10/2018
03	CÚPULA	22/10/2018
04	SOPORTE DE BASE	22/10/2018
05	SECCIÓN CÓNICA	22/10/2018
06	AGITADOR	22/10/2018
07	VISTA EXPLOSIONADA	22/10/2018



**Figura 54.** Plano de vista isométrica del biodigestor.

**Fuente:** Propia

### 3.4. Análisis Económico.

#### 1. Presupuesto

En la *Tabla 13* se describe los componentes del tanque biodigestor con sus respectivos costos para tener una idea de la inversión que tendríamos que hacer para construir el biodigestor.

**Tabla 13**

*Presupuesto detallado del biodigestor anaeróbico vertical.*

**Fuente:** Propia

<b>PRESUPUESTO BIODIGESTOR EN EL CASERIO LA ZANJA – CAJAMARCA</b>			
<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUB TOTAL S/.</b>
PLCH ACERO AISI A304 2440 X 1230 MM	10	932.40	9324.00
BR SOLIDA ACERO AISI A304 Ø1 1/2" X 3 M	1	114.38	114.38
TUBOS ASTM A312 Ø 4" X 3 M	4	65.00	261.20
<b>TOTAL</b>			<b>S/9,699.58</b>
<b>ACCESORIOS</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUB TOTAL S/.</b>
MOTORREDUCTOR	1	837.50	837.50
VÁLVULA GLOBO 6"	2	753.56	1507.12
VALVULA BOLA 1"	1	30.00	30.00
MANÓMETRO 0 A 50 PSI	1	190.00	190.00
VÁLVULA DE ALIVIO 1 BAR Ø 1"	1	320.00	320.00
<b>TOTAL</b>			<b>S/2,884.62</b>
<b>CONSUMIBLES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUB TOTAL S/.</b>
ALQUILER DE MAQUINAS Y HERRAMIENTAS (7 DÍAS)	1	70.00	70
SERVICIO DE ROLADO (1 DIA)	1	150.00	150
DISCO DE CORTE	10	4.90	49
DISCO DE DESBASTE	10	8.90	89
ELECTRODOS (KG.)	10	187.70	1877
<b>TOTAL</b>			<b>S/2,235.00</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUB TOTAL S/.</b>
MANO DE OBRA OPERARIO (7 DIAS)	1	80.00	560
MANO DE OBRA AYUDANTE (7 DIAS)	3	50.00	1050
<b>TOTAL</b>			<b>S/1,610.00</b>
<b>ELABORACION DE PROYECTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUB TOTAL S/.</b>
SERVICIOS (MESES)	6	90.00	540.00
IMPRESIONES (HOJAS)	152	0.20	30.40
ANILLADOS	2	2.50	5.00
GRABACION DE DISCOS	2	2.00	4.00

PASAJES	4	50.00	200.00
<b>TOTAL</b>			<b>S/779.40</b>
<b>MANTENIMIENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUB TOTAL S/.</b>
SERVICIO DE MANTEMIENTO ANUAL	1	1000	1000
<b>TOTAL</b>			<b>S/1,000.00</b>
<b>RESUMEN</b>			<b>COSTO S/.</b>
MATERIALES			9699.58
ACCESORIOS			2884.62
CONSUMIBLES			2235
MANO DE OBRA			1610
ELAVORACIÓN DE PROYECTO			779.4
MANTENIMIENTO			1000
<b>TOTAL</b>			<b>S/18,208.60</b>

La inversión inicial requerida para construir el biodigestor es de S/18,208.60, esta comprende el costo de los materiales, los accesorios, materiales consumibles tales como la soldadura, los discos de corte, etc., adicional a los pagos de los servicios de rolado y alquiler de la máquina de soldar y amoladora industrial, se consideran 7 días para el ensamble del tanque biodigestor, la mano de obra estará conformada por 01 operario y 03 ayudantes, el pagó día/hombre para el operario es de S/ 80.00, mientras que a cada ayudante S/ 50.00.

## 2. Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI).

El “PRI” es el indicador que determina el tiempo de recuperación de la inversión inicial del costo de los componentes del biodigestor. Este valor se puede determinar de la forma como lo describe (Eggert, 2005).

$$P = \sum_{1}^{j} CF_j(1 + i)^{-j}$$

Donde:

*P*: Valor monetario de la inversión inicial (soles)

*CF<sub>j</sub>*: Flujo de caja positivo anual (soles)

*i*: Tasa de interés anual (adimensional)

*j*: Periodo de recuperación de la inversión (años)

El proyecto de la construcción del biodigestor busca el autofinanciamiento de las municipalidades que presenten deficiencias energéticas. La tasa de interés anual “i” se impondrá en el caso que el proyecto sea financiado por alguna entidad bancaria.

De acuerdo a la información obtenida de las encuestas aplicada a los pobladores del caserío la Zanja (Ver sección 3.1), se estima que el pago por servicio eléctrico en el caserío es de S/. 400.00 mensuales, la ganancia anual es de S/. 4800.00, previendo el mantenimiento del biodigestor, se considera el monto de S/. 300.00 anuales, el flujo de caja será S/. 4500.00 anuales. En la *Figura 55* se muestran los valores de ganancia y tiempo de recuperación de la inversión inicial, estos se pueden interpretar de la siguiente manera, entre el tercer y el cuarto año el biodigestor generara ganancias de S/. 1274.045 y el tiempo de recuperación de la inversión de 5 años y 8 meses. Este cálculo está proyectado en 20 años máximo, lo cual, se podría obtener una ganancia total de S/. 37871.34.

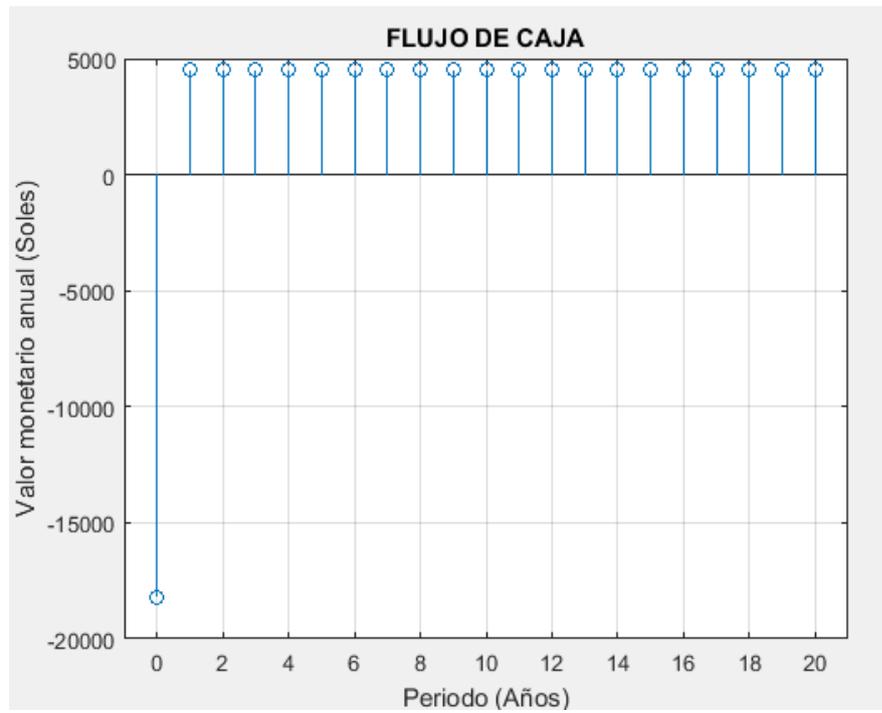
CÁLCULO DE TIEMPO DE RETORNO DE INVERSIÓN DESCONTADO					5%
Year	Cash Flow (\$)	CFj (\$)	(P/F, 2%, n)	CFj(P/F,2%,n) (\$)	Sum (\$)
0	-18208.6	-18208.6	1.00000	-18208.6	-18208.6000
1	4500	4500	0.95238	4285.714286	-13922.8857
2	4500	4500	0.90703	4081.632653	-9841.2531
3	4500	4500	0.86384	3887.269193	-5953.9839
4	4500	4500	0.82270	3702.161137	-2251.8227
5	4500	4500	0.78353	3525.867749	1274.0450
6	4500	4500	0.74622	3357.969285	4632.0143
7	4500	4500	0.71068	3198.065986	7830.0803
8	4500	4500	0.67684	3045.777129	10875.8574
9	4500	4500	0.64461	2900.740123	13776.5975
10	4500	4500	0.61391	2762.609641	16539.2072
11	4500	4500	0.58468	2631.056801	19170.2640
12	4500	4500	0.55684	2505.768382	21676.0324
13	4500	4500	0.53032	2386.446078	24062.4784
14	4500	4500	0.50507	2272.805788	26335.2842
15	4500	4500	0.48102	2164.576941	28499.8612
16	4500	4500	0.45811	2061.501849	30561.3630
17	4500	4500	0.43630	1963.335094	32524.6981
18	4500	4500	0.41552	1869.842947	34394.5411
19	4500	4500	0.39573	1780.802807	36175.3439
20	4500	4500	0.37689	1696.002673	37871.3465

GANANCIA	
4	-2251.82
5	1274.045
Tiempo	4.6387
Años	4
Meses	8

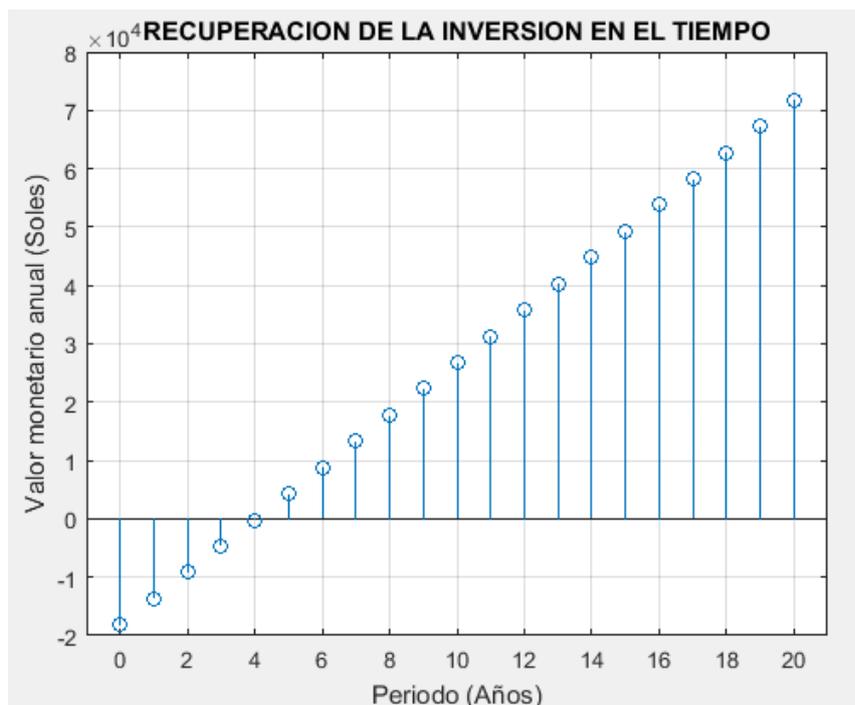
*Figura 55.* Plano de vista isométrica del biodigestor.

Fuente: Propia



**Figura 56.** Flujo de caja.

**Fuente:** Propia



**Figura 57.** Tiempo de recuperación de la inversión.

**Fuente:** Propia

El flujo de caja esta graficado en la *Figura 56*, se muestra la inversión inicial realizada en el primer año y la ganancia anual de S/. 4500.00 proyectado en 20 años. En la *Figura 57* se aprecia el periodo de recuperación de inversión donde la tendencia de incremento es lineal debido a que la ganancia anual se consideró constante durante un periodo de 20 años. La ganancia anual reduce a la inversión inicial hasta los 4 años y 8 meses, periodo en el cual se recupera la inversión inicial y el monto alcanzado en el tiempo proyectado, después de este periodo tan solo se perciben ganancias por parte del equipo.

### **3.5. Discusión de Resultados.**

Se realizaron encuestas a los pobladores del Caserío La Zanja para determinar las necesidades energéticas de la población. Se obtuvo que los pobladores pagan en promedio S/. 17.75 mensuales por energía eléctrica. Además, tienen en total 461 cabezas de ganado vacuno, los cuales producen alrededor de 5 836.5 Kg de estiércol diario, distribuido de la siguiente manera: 2722.5 Kg (46.6%) producido por ganado tipo engorde, 2676 Kg (45.8%) por ganado tipo lechero y 438 Kg (7.5%) por ganado tipo pequeño.

El consumo de energía eléctrica mensual de caserío es de 557.56 kWh/mes, obtenido mediante encuesta a los pobladores. Esto nos brinda un consumo diario promedio de 18.59 kWh. Se estimó que el estiércol diario generado por el ganado vacuno puede compensar este consumo eléctrico empleando el biodigestor.

No existe normativa para el diseño de biodigestores, por tanto, se basó el diseño en libros, manuales, normas, artículos de investigación e investigaciones previas. Estas fuentes nos permitieron obtener las ecuaciones y relaciones para el cálculo de las dimensiones de los componentes y los materiales adecuados.

Teniendo en cuenta la información obtenida de las encuestas y las recomendaciones de diseño, se procedió a determinar las dimensiones generales del biodigestor y su agitador. La Cámara de Fermentación del biodigestor tiene un diámetro de 2.25 m y

una altura de 2.34 m. La cúpula tiene una altura de 0.26 m, con un radio de 2.59 m (tapa toriesférica). La sección cónica tiene una longitud de 1.08 m, con un ángulo de inclinación de 30°, y un diámetro inferior de 1 m de diámetro. El acero recomendado para la construcción del biodigestor es el acero inoxidable AISI 304 por ser de alta calidad y menor costo que el acero inoxidable 316. Los espesores de las paredes de la cámara de fermentación del biodigestor de 1.19 mm y para la cúpula 0.68 mm, debido a que el acero está expuesto a ambientes corrosivos se añade 0.125 pulgadas por margen de corrosión, siendo los espesores de 4.37 mm para la cámara de fermentación y 3.84 mm para la cúpula del biodigestor.

De acuerdo al diseño de la configuración para el agitador del biodigestor, se seleccionó un agitador vertical de 4 paletas inclinadas a 45° accionado por un motor con caja reductora. El agitador está sometido a un torque máximo de 125.47 Nm. El diseño del agitador con aletas en 45° brinda la mayor eficiencia para el movimiento de lodos en tanques. El rodete del agitador tiene un diámetro de 1000 mm, con un ancho de paletas de 167 mm y una longitud de 250 mm. Estas paletas se conectan al eje mediante un acople central, lo que permite el desmontaje del agitador para su mantenimiento respectivo.

De la simulación realizada para el acero AISI 304 tomando como diámetro del agitador 1 ½ pulgadas se obtuvo que la deformación máxima es 11.331 mm y se da en las aletas, por otra parte el valor del máximo esfuerzo es 22.767 MPa con un factor de seguridad de 9 y se da en la parte superior del eje donde se acopla con el motorreductor. Tomando un diámetro 1 ¼ de pulgada (31.73 mm) se obtiene un factor de seguridad de 5.22 el cual es un valor más bajo comparado con el análisis anterior.

Se realizó la simulación de las paredes del tanque biodigestor con la ayuda del programa ANSYS, la deformación máxima es de 1.71 mm, mientras que el esfuerzo que tendrá que resistir es de 173.99 MPa y el factor de seguridad 1.4369.

Se realizó un análisis económico para la implementación del biodigestor en el caserío La Zanja. El sistema exige una inversión de S/18,208.60, incluyendo mano de obra, pero brinda una ganancia anual de S/4,500.00. Por tanto, el Período de Retorno

de Inversión es de 4 años y 8 meses , lo que nos permite concluir que la población esta pagando un promedio de su consumo energetico la suma de S/. 17.75, y con la instalación del biodigestor la población pagaria la suma de /. 10.00 lo que es rentable para la comunidad, y hará uso del sistema por todo el tiempo de vida útil del biodigestor .

**CAPITULO IV**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## **IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **4.1. CONCLUSIONES**

Mediante la aplicación de encuestas a los pobladores del caserío la Zanja, se determinó la demanda energética de la población de 557.56 kW.h/mes, esta información es muy valiosa en el proceso de diseño del biodigestor, debido a que la cámara de fermentación y la cúpula del mismo está dimensionada de acuerdo a estos valores, además, se pudo estimar la viabilidad del proyecto según la crianza, natalidad y mortandad del ganado vacuno, el cual nos indica que el número de vacas aumenta a 10 anualmente, esto es un valor muy importante, ya que habría metería prima suficiente para producir más biogás en el transcurso de tiempo y suplir la necesidad energética al aumento de la población.

Se recurrió a diseñar el tanque biodigestor a partir de las recomendaciones de diseño, debido a que existe muy poca información sobre diseño de tanques de acero que almacenen este tipo de mezcla (agua y estiércol). Además, se seleccionó el diseño del biodigestor vertical con fondo semi-cónico y domo en forma semi-esférica, la forma geométrica del biodigestor permite distribuir la presión interna de manera uniforme, esto evita reducir la deformación en todo el recubrimiento del tanque, el fondo semi-cónico permite el desplazamiento de la mezcla evitando la formación de sedimentos. Para la selección del diseño se tuvo en cuenta, cinco criterios de selección como son: costo, mantenimiento, operatividad, geometría y seguridad.

El uso del agitador de fluidos, permite mezclar el flujo de agua y estiércol de manera uniforme, reduciendo el tiempo de retención, esto haría más eficiente la producción de biogás.

Se procedió a dimensionar el tanque del biodigestor, haciendo uso de la metodología de diseño de Campos (Campos, 2011) y de la demanda energética de la población, de la cual se obtuvo mediante encuesta y recibos de servicio eléctrico. El volumen total del biodigestor es de 12.4 m<sup>3</sup>, de los cuales el 25% de su volumen está destinado al almacenamiento del biogás. Los espesores de las paredes del tanque fueron calculados, según a la presión de funcionamiento de 1 bar, obtenida de las recomendaciones de diseño, los valores obtenidos son: el espesor de las paredes de la

cámara de fermentación será de 4.37 mm y el espesor de las paredes de la cúpula será de 3.84 mm., estos datos fueron comparados por el software de diseño ANSYS Student 19.2 versión libre para estudiantes, obteniendo resultados tales como, la deformación máxima es de 1.71 mm y el factor de seguridad de 1.437, siendo datos favorables al momento del funcionamiento del biodigestor. De acuerdo a los espesores, se procedió a uniformizar el espesor de 4.5 mm por motivos al momento de la adquisición de las planchas de acero inoxidable.

El análisis económico empleando el Período de Retorno de Inversión (PRI) nos brindó un tiempo de recuperación de 4 años y 8 mes, lo que nos permite concluir que la población esta pagando un promedio de su consumo energetico la suma de S/. 17.75, y con la instacion del biodigestor la población pagaria la suma de /. 10.00 lo que es rentable para la comunidad, y hará uso del sistema por todo el tiempo de vida útil del biodigestor .

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

Es recomendable realizar posteriormente un análisis comparativo entre métodos convencionales de generación de energía como son: centrales hidroeléctricas, centrales de vapor, etc, y el potencial energético del biodigestor donde se tenga en cuenta la cantidad de energía eléctrica vs la producción del biogás.

Debido a los sulfuros presentes en el biogás, hacen que este sea corrosivo a los metales, es recomendable la construcción del biodigestor con acero inoxidable AISI A.304, por las características anticorrosivas que posee, además el costo es otro factor a favor, en comparación con otros aceros inoxidables.

**CAPITULO V**  
**REFERENCIAS**

## V. REFERENCIAS

- Almanza, F. (2011). Construcción y Evaluación de un Biodigestor Modelo Chino Mejorado para Zonas Andinas. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Biogás. (2018). Plantas de biogás. Recuperado de: <https://www.biogas.es/plantas-de-biogas/>
- Botero, R. y Preston, T. (1987). Biodigestores de Bajo Costo para la Producción de Combustible y Fertilizante a Partir de Excretas: Manual para su Instalación, Operación y Utilización.
- Budynas, R., y Nisbett, K. (2008). Diseño en Ingeniería Mecánico de Shigley. México: McGraw-Hill.
- Campos, B. (2011). Metodología para Determinar los Parámetros de Diseño y Construcción de Biodigestores para el Sector Cooperativo y Campesino. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.
- Carbone Stainless Steel. (2018). Ficha Técnica del Acero Inoxidable. Recuperado de: <https://www.empresascarbone.com/pdf/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable.pdf>
- Compañía de Minas Buenaventura (2013). Ampliación Área de Riego en Caserío La Zanja. Recuperado de: <http://www.responsabilidadsocialydesarrollosostenible.org.pe/infraestructura-rsd/12-especiales/pdf/422-2014-buenaventura-amplian-area-de-riego-en-caserio-la-zanja.html>
- Cruz, R. (2015). Diseño Termodinámico de un Biodigestor Generador de Gas Metano, a partir de Aguas Negras para Consumo Doméstico en un Edificio de Condominio. Tesis de Pregrado. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Dieter, G. E. & Schmidt, L. C. (2009). Engineering design. The United States, New York: McGraw – Hill.
- Eggert, R. (2010). Engineering Design. The United States: High Peak Press.
- El-Mashad, H., Van, W., Zeeman, G., y Bot, G. (2005). Rheological Properties of Dairy Cattle Manure. Bioresource Technology 96 (pp. 531 – 535).

- Ephesus. (2017). Biodigestores Modulares BDM (Brochure Empresarial). Recuperado de: <http://grupoifes.com/ifes/wp-content/uploads/2013/09/Brochure-Ephesus-BDM-general.pdf>
- Ezekoye, M. y Okeke, C.E. (2016). Design, Construction, and Performance Evaluation of Plastic Biodigester and the Store of Biogas. Department of Physics and Astronomy, University of Nigeria, Nsukka.
- Filippín, C., Follari, J., y Vigil, J. (1988). Diseño de un Biodigestor para Obtener Gas Metano y Fertilizantes a Partir de la Fermentación de Excrementos de Vacas Lecheras en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de la Pampa. Universidad Nacional de la Pampa.
- García, R., Álamo, M. y Marcelo, M. (2017). Diseño de un Biodigestor Tubular para Zonas Rurales en la Región Piura. XXIV Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXIV – SPES), Huaraz.
- Guardado, J. (2007). Diseño y Construcción de Plantas de Biogás Sencillas. Editorial Cubasolar.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006). Metodología de la Investigación. México: McGraw-Hill.
- Hilbert, J. (2003). Manual Para la Producción de Biogás. Buenos Aires. Instituto de Ingeniería Rural, INTA.
- Hivos, SNV y Soluciones Prácticas (2013). Plan del Programa Nacional de Biodigestores en Perú. Recuperado de: [http://beegroup-cimne.com/kt-content/uploads/2017/02/2013\\_PNB\\_Peru\\_Plan.pdf](http://beegroup-cimne.com/kt-content/uploads/2017/02/2013_PNB_Peru_Plan.pdf)
- Kaur, H., Kumar, V. y Kumar, S. (2017). Designing of Small-Scale Fixed Dome Biogas Digester for Paddy Straw. International Journal of Renewable Energy Research.
- Mago, M., Sosa, J., Flores, B. y Tovar, L. (2014). Propuesta de Diseño de una Planta de Biogás para la Generación de Potencia Eléctrica en Zonas Pecuarias de Venezuela a Través del Programa Biodigestor. Revista Ingeniería Universidad de Carabobo.

- Mantilla, J., Duque, C. y Galeano, C. (2007). Diseño y Estudio Económico Preliminar de una Planta Productora de Biogás Utilizando Residuos Orgánicos de Ganado Vacuno. *Revista Ingeniería e Investigación*.
- Martí, J. (2008). *Biodigestores Familiares: Guía de Diseño y Manual de instalación*. GTZ Energía. Bolivia.
- McCabe, L., Smith., J., Harriott, P. (1991). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. México: McGraw – Hill.
- Megyesy, E. (1992). *Manual de Recipientes a Presión: Diseño y Cálculo*. México. Editorial LIMUSA
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (2015). *Introducción de Biodigestores en Sistemas Agropecuarios en el Ecuador*. Recuperado de: [http://beegroup-cimne.com/kt-content/uploads/2017/02/2015\\_Manual\\_Biodigestores\\_Ecuador.pdf](http://beegroup-cimne.com/kt-content/uploads/2017/02/2015_Manual_Biodigestores_Ecuador.pdf)
- Mukumba, P., Makaka, G., Mamphweli, S. y Misi, S. (2013). A Possible design and justification for a biogas plan at Nyazura Adventist High School, Rusapi, Zimbabwe. *Journal of Energy in Southern Africa*.
- Navarro, L. (2012). *Diseño y Construcción de un Biodigestor Anaeróbico para el Aprovechamiento Energético de la Biomasa y Uso Experimental para la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña*. (Tesis de Pregrado). Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.
- Obando, G. (2009). *Construcción de Biodigestores Discontinuos y Análisis de su Comportamiento Bajo Diferentes Regímenes de Operación*. *Revista de Investigación Aplicada e Innovación*. Vol. (3). Tecsup.
- Oxford Committee for Famine Relief (2014). *Alimentación, Combustibles Fósiles y Fondos Sucios*. Recuperado de: [https://www.oxfam.org/sites/www.oxfam.org/files/file\\_attachments/bp191-fossil-sp.pdf](https://www.oxfam.org/sites/www.oxfam.org/files/file_attachments/bp191-fossil-sp.pdf)
- Paul, E., Atiemo, V, y Kresta, S. (2004). *Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice*. John Wiley & Sons, Inc.

- Pérez, J. (2010). Estudio y Diseño de un Biodigestor para Aplicación en Pequeños Ganaderos y Lecheros. (Tesis de Pregrado). Universidad de Chile.
- Salazar, J., Amusquivar, C., Llave, J. y Rivasplata, C. (2012). Producción de Biogás y Biól a Partir de Excretas de Ganado: Experiencias en la Ciudad de Tacna. *XIX Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente, Puno, 14-17.11.2012.*
- Tucki, K., Klimkiewicz, M., Mruk, R., y Piqtkowski, P. (2015). Design of Digester Biogas Tank Parte I: Biogas Calculator – Tool to Perform Biogas Energy Calculations. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. (Vol. 15, pp. 1, 75 -82).
- Varnero, M. (2011). Manual de Biogás. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

# **ANEXOS**

**ANEXO N° 1**

**FORMATO DE ENCUESTA A LOS POBLADORES DEL CASERIO LA ZANJA.**



**ENCUESTA A LOS POBLADORES DEL CASERIO LA ZANJA – CAJAMARCA.**

**FACULTAD: INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO.**

**ESCUELA: INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA.**

**ALUMNOS: ZAPATA VIGIL, MANUEL.**

**HERNANDEZ GIL, MIGUEL**

**PREGUNTAS**

1. ¿Cuenta con servicio eléctrico en su localidad? De ser “afirmativa” su respuesta, comente alguna deficiencia en el servicio eléctrico.

.....  
.....  
.....

2. ¿Cuánto paga por el servicio eléctrico mensual?

- a. S/.10.00      b. S/.15.00      c. S/.20.00      d. S/.30.00      e. Más de S/.30.00

3. Hace uso de generadores eléctricos en su localidad (Grupo electrógeno). De ser “afirmativa” su respuesta, indique: ¿Qué tipo de combustibles utiliza para generar energía eléctrica?

- a. Petróleo      b. Kerosene      c. Gasolina      d. Otros: .....

4. ¿Cuánto combustible utiliza para satisfacer la demanda del grupo electrógeno al mes?

- a. 50 gal.      b. 60 gal.      c. 70 gal.      d. 80 gal.      e. Otras cantidades: .....

5. ¿Qué actividades económicas realiza usted en su localidad?
- a. Ganadería    b. Agricultura    c. Minería    d. Comercio    e. Otros: .....
6. ¿Cuántas hectáreas de terreno posee?
- a. 1 Ha            b. Entre 1 y 5 Ha            c. Entre 5 y 10 Ha            d. Más de 10 Ha
7. ¿Qué clase de animales cría usted?
- a. Vacas            b. cerdos            c. Aves            d. Cuyes            e. Otros:.....
8. ¿Qué raza de animales cría?
- .....
- .....
- .....
9. ¿Cuántos animales tiene en la actualidad?
- .....
- .....
- .....
10. Tiene conocimiento de la cantidad de excremento producido por su ganado.
- .....
- .....
- .....
11. ¿Cuál es la tasa de mortandad anual?
- a. 1            b. 2            c. 3            d. 4            e. Otras cantidades: .....
12. ¿Cuál es la tasa de natalidad anual de su ganado?
- a. 1            b. 2            c. 3            d. 4            e. Otras cantidades: .....

13. ¿Con qué frecuencia vende usted sus animales?

- a. Semanal            b. Mensual            c. Anual            d. No realizo Esta actividad

14. Indique usted, ¿en qué cantidades realiza la venta de sus animales?

- a. 1 a 2            b. 3 a 5            c. 6 a 10            d. Otros: .....

15. Un biodigestor es un contenedor hermético que permite la descomposición de la materia orgánica, del cual obtenemos biogás, ¿Qué utilidad daría usted al biogás generado?

- a. Generación Eléctrica.    b. Uso doméstico    c. Calefacción    d. Otros: .....

16. Estaría de acuerdo con la instalación de un biodigestor en su localidad.

- a. Sí            b. No            c. Tal vez            d. No opina

17. Participaría en las actividades de mantenimiento del biodigestor.

- a. Sí            b. No            c. Tal vez            d. No opina

18. Participaría en el plan de recolecta de estiércol

- a. Sí            b. No            c. Tal vez            d. No opina

ANEXO N° 2

EJEMPLO DE ENCUESTA N° 1



ENCUESTA A LOS POBLADORES DEL CASERIO LA ZANJA –  
CAJAMARCA.

FACULTAD: INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO.  
ESCUELA: INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA.  
ALUMNOS: ZAPATA VIGIL, MANUEL.  
HERNANDEZ GIL, MIGUEL.

PREGUNTAS

1. ¿Cuenta con servicio eléctrico en su localidad? De ser “afirmativa” su respuesta, comente alguna deficiencia en el servicio eléctrico.  
... Si, pero con frecuencia el servicio de electricidad.....  
... es cortado por causa de las lluvias.....  
.....
2. ¿Cuánto paga por el servicio eléctrico mensual?  
  
a. S/.10.00    b. S/.15.00    c. S/.20.00    d. S/.30.00    e. Más de S/.30.00
3. Hace uso de generadores eléctricos en su localidad (Grupo electrógeno). De ser “afirmativa” su respuesta, indique: ¿Qué tipo de combustibles utiliza para generar energía eléctrica?  
  
a. Petróleo    b. Kerosene    c. Gasolina    d. Otros: .....
4. ¿Cuánto combustible utiliza para satisfacer la demanda del grupo electrógeno al mes?  
  
a. 50 gal.    b. 60 gal.    c. 70 gal.    d. 80 gal.    e. Otras cantidades: .....

5. ¿Qué actividades económicas realiza usted en su localidad?

~~a.~~ Ganadería ~~b.~~ Agricultura c. Minería ~~d.~~ Comercio e. Otros:.....

6. ¿Cuántas hectáreas de terreno posee?

a. 1 Ha ~~b.~~ Entre 1 y 5 Ha c. Entre 5 y 10 Ha d. Más de 10 Ha

7. ¿Qué clase de animales cría usted?

~~a.~~ Vacas ~~b.~~ cerdos ~~c.~~ Aves ~~d.~~ Cuyes e. Otros:.....

8. ¿Qué raza de animales cría?

La raza de vacas que crío son Holstein.....

9. ¿Cuántos animales tiene en la actualidad?

Actualmente tengo 8 vacas lecheras, 15 vacas de  
engorde en el campo y 2 vacas terneros.

10. Tiene conocimiento de la cantidad de excremento producido por su ganado.

Las vacas lecheras pueden producir aproximadamente 12 kg  
Las vacas de engorde hasta 18 kg.  
Las vacas pequeñas aproximadamente 6 kg.

11. ¿Cuál es la tasa de mortandad anual?

a. 1 ~~b.~~ 2 c. 3 d. 4 e. Otras cantidades: .....

12. ¿Cuál es la tasa de natalidad anual de su ganado?

a. 1 b. 2 ~~c.~~ 3 d. 4 e. Otras cantidades: .....

13. ¿Con qué frecuencia vende usted sus animales?

- a. Semanal      b. Mensual       c. Anual      d. No realizo Esta actividad

14. Indique usted, ¿en qué cantidades realiza la venta de sus animales?

- a. 1 a 2      b. 3 a 5      c. 6 a 10      d. Otros: .....

15. Un biodigestor es un contenedor hermético que permite la descomposición de la materia orgánica, del cual obtenemos biogás, ¿Qué utilidad daría usted al biogás generado?

- a. Generación Eléctrica.       b. Uso doméstico      c. Calefacción      d. Otros: Abono...

16. Estaría de acuerdo con la instalación de un biodigestor en su localidad.

- a. Sí      b. No      c. Tal vez      d. No opina

17. Participaría en las actividades de mantenimiento del biodigestor.

- a. Sí      b. No      c. Tal vez      d. No opina

18. Participaría en el plan de recolecta de estiércol

- a. Sí      b. No      c. Tal vez      d. No opina

Encuestada: Flor Marleny Hernández Suárez

DNI: 43061644

## EJEMPLO DE ENCUESTA N° 2



### ENCUESTA A LOS POBLADORES DEL CASERIO LA ZANJA – CAJAMARCA.

FACULTAD: INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO.  
ESCUELA: INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA.  
ALUMNOS: ZAPATA VIGIL, MANUEL.  
HERNANDEZ GIL, MIGUEL.

#### PREGUNTAS

1. ¿Cuenta con servicio eléctrico en su localidad? De ser “afirmativa” su respuesta, comente alguna deficiencia en el servicio eléctrico.  
Si, pero el servicio eléctrico es cortado en ocasiones por el mismo clima, en ocasiones no tenemos electricidad hasta 1 semana.
2. ¿Cuánto paga por el servicio eléctrico mensual?  
a. S/.10.00    b. S/.15.00    ~~c. S/.20.00~~    d. S/.30.00    e. Más de S/.30.00
3. Hace uso de generadores eléctricos en su localidad (Grupo electrógeno). De ser “afirmativa” su respuesta, indique: ¿Qué tipo de combustibles utiliza para generar energía eléctrica?  
a. Petróleo    b. Kerosene    ~~c. Gasolina~~    d. Otros: .....
4. ¿Cuánto combustible utiliza para satisfacer la demanda del grupo electrógeno al mes?  
~~a. 50 gal.~~    b. 60 gal.    c. 70 gal.    d. 80 gal.    e. Otras cantidades: .....

5. ¿Qué actividades económicas realiza usted en su localidad?

- a. Ganadería    b. Agricultura    c. Minería    d. Comercio    e. Otros:.....

6. ¿Cuántas hectáreas de terreno posee?

- a. 1 Ha    b. Entre 1 y 5 Ha     c. Entre 5 y 10 Ha    d. Más de 10 Ha

7. ¿Qué clase de animales cría usted?

- a. Vacas    b. cerdos    c. Aves    d. Cuyes    e. Otros:.....

8. ¿Qué raza de animales cría?

...Las vacas que crío son de raza Holstein y Brown Swiss.

9. ¿Cuántos animales tiene en la actualidad?

En la actualidad cuento con 10 cabezas de ganado lechero y 10 cabezas de ganado de engorde y 5 terneros.

10. Tiene conocimiento de la cantidad de excremento producido por su ganado.

El ganado lechero entre 10 y 12 kg. y el de engorde hasta 18 kg. y las terneras aproximadamente 6 kg de estiércol al día.

11. ¿Cuál es la tasa de mortandad anual?

- a. 1    b. 2     c. 3    d. 4    e. Otras cantidades: .....

12. ¿Cuál es la tasa de natalidad anual de su ganado?

- a. 1    b. 2    c. 3    d. 4    e. Otras cantidades: ..... 5 .....

13. ¿Con qué frecuencia vende usted sus animales?

- a. Semanal      b. Mensual       c. Anual      d. No realizo Esta actividad

14. Indique usted, ¿en qué cantidades realiza la venta de sus animales?

- a. 1 a 2      b. 3 a 5      c. 6 a 10      d. Otros: .....

15. Un biodigestor es un contenedor hermético que permite la descomposición de la materia orgánica, del cual obtenemos biogás, ¿Qué utilidad daría usted al biogás generado?

- a. Generación Eléctrica.       b. Uso doméstico      c. Calefacción      d. Otros: .....

16. Estaría de acuerdo con la instalación de un biodigestor en su localidad.

- a. Sí      b. No      c. Tal vez      d. No opina

17. Participaría en las actividades de mantenimiento del biodigestor.

- a. Sí      b. No      c. Tal vez      d. No opina

18. Participaría en el plan de recolecta de estiércol

- a. Sí      b. No      c. Tal vez      d. No opina

Encuestado: César Gil Quispe

DNI: 27971995

### EJEMPLO DE ENCUESTA N° 3



#### ENCUESTA A LOS POBLADORES DEL CASERIO LA ZANJA – CAJAMARCA.

FACULTAD: INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO.  
ESCUELA: INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA.  
ALUMNOS: ZAPATA VIGIL, MANUEL.  
HERNANDEZ GIL, MIGUEL.

#### PREGUNTAS

1. ¿Cuenta con servicio eléctrico en su localidad? De ser “afirmativa” su respuesta, comente alguna deficiencia en el servicio eléctrico.

*Sí, pero con frecuencia el servicio es interrumpido por las lluvias.*

2. ¿Cuánto paga por el servicio eléctrico mensual?

a. S/.10.00    ~~b. S/.15.00~~    c. S/.20.00    d. S/.30.00    e. Más de S/.30.00

3. Hace uso de generadores eléctricos en su localidad (Grupo electrógeno). De ser “afirmativa” su respuesta, indique: ¿Qué tipo de combustibles utiliza para generar energía eléctrica?

a. Petróleo    b. Kerosene    c. Gasolina    d. Otros: .....

4. ¿Cuánto combustible utiliza para satisfacer la demanda del grupo electrógeno al mes?

a. 50 gal.    b. 60 gal.    c. 70 gal.    d. 80 gal.    e. Otras cantidades: .....

5. ¿Qué actividades económicas realiza usted en su localidad?

- a. Ganadería    b. Agricultura    c. Minería    d. Comercio   e. Otros:.....

6. ¿Cuántas hectáreas de terreno posee?

- a. 1 Ha    b. Entre 1 y 5 Ha   c. Entre 5 y 10 Ha   d. Más de 10 Ha

7. ¿Qué clase de animales cría usted?

- a. Vacas   b. cerdos   c. Aves    d. Cuyes   e. Otros:...OVEJAS.....

8. ¿Qué raza de animales cría?

Las vacas son Holstein.  
.....  
.....  
.....

9. ¿Cuántos animales tiene en la actualidad?

tiene 8 cabezas de ganado lechero y 10 cabezas de  
ganado en el campo de engorde y 2 terneros.  
.....  
.....

10. Tiene conocimiento de la cantidad de excremento producido por su ganado.

Sí, el ganado lechero produce de estiércol entre 11 y 12 kg,  
el ganado lechero hasta 18 kg y el ternero  
6 kg aproximados.  
.....

11. ¿Cuál es la tasa de mortandad anual?

- a. 1   b. 2   c. 3   d. 4   e. Otras cantidades: .....

12. ¿Cuál es la tasa de natalidad anual de su ganado?

- a. 1   b. 2   c. 3   d. 4   e. Otras cantidades: .....5.....

13. ¿Con qué frecuencia vende usted sus animales?

- a. Semanal      b. Mensual       c. Anual      d. No realizo Esta actividad

14. Indique usted, ¿en qué cantidades realiza la venta de sus animales?

- a. 1 a 10 (C2)      b. 11 a 15      c. 16 a 20      d. Más de 20

15. Un biodigestor es un contenedor hermético que permite la descomposición de la materia orgánica, del cual obtenemos biogás, ¿Qué utilidad daría usted al biogás generado?

- a. Generación Eléctrica.       b. Uso doméstico      c. Calefacción      d. Otros:.....

16. Estaría de acuerdo con la instalación de un biodigestor en su localidad.

- a. Sí      b. No      c. Tal vez      d. No opina

17. Participaría en las actividades de mantenimiento del biodigestor.

- a. Sí      b. No      c. Tal vez      d. No opina

18. Participaría en el plan de recolecta de estiércol

- a. Sí      b. No      c. Tal vez      d. No opina

Encuestado: Noe Medina Romero

DNI: 45766522

**ANEXO N° 3**

**RESUMEN DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LAS ENCUESTAS.**

<b>DATOS DE ENCUESTA</b>									
<b>Encuestado</b>	<b>Servicio Eléctrico</b>	<b>Pago Servicio Eléctrico (S/.)</b>	<b>Ganado Lechero</b>	<b>Ganado Engorde</b>	<b>Ganado Pequeño</b>	<b>Mortandad (Anual)</b>	<b>Natalidad (Anual)</b>	<b>Venta (Anual)</b>	<b>Viabilidad</b>
<b>1</b>	Sí	10	8	15	2	2	3	2	-1
<b>2</b>	Sí	15	8	10	3	1	4	1	2
<b>3</b>	Sí	15	8	10	2	1	5	2	2
<b>4</b>	Sí	15	12	10	3	3	4	2	-1
<b>5</b>	Sí	15	5	10	3	1	2	1	0
<b>6</b>	Sí	15	10	2	4	2	5	2	1
<b>7</b>	Sí	15	10	5	3	1	3	2	0
<b>8</b>	Sí	15	15	10	5	3	5	2	0
<b>9</b>	Sí	20	15	20	5	3	8	5	0
<b>10</b>	Sí	20	15	10	7	1	4	3	0
<b>11</b>	Sí	20	10	8	4	1	4	2	1
<b>12</b>	Sí	20	10	10	5	1	4	3	0
<b>13</b>	Sí	20	15	0	3	1	2	0	1
<b>14</b>	Sí	20	15	0	2	0	2	1	1
<b>15</b>	Sí	20	12	0	1	2	5	3	0
<b>16</b>	Sí	20	20	0	3	2	4	2	0
<b>17</b>	Sí	20	10	5	2	2	5	2	1
<b>18</b>	Sí	20	15	10	7	3	6	2	1
<b>19</b>	Sí	20	0	20	4	1	4	2	1
<b>20</b>	Sí	20	10	10	5	3	5	1	1
<b>TOTAL</b>		355	223	165	73	-	-	-	10

ANEXO N° 4

RECIBOS ELECTRICOS

RECIBO ELECTRICO N° 1

RECIBO Nº 651-14665216      Noviembre-2017

Puerto, Santa Cruz - Cajamarca/

Para Consultas, su código es: **45257932**

Villalada Hernandez, Julio Antonio  
Carr. Sector Bajo sin Cas. La Zanja

**Hidrandina**  
EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PUBLICO DE ELECTRICIDAD ELECTRONICOS A.E.O.S.A.  
R.U.C. 20132023540

DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO		IMPORTES FACTURADOS	
Tensión	220 V - BT	Recibo por Consumo del 22/10/2017 al 20/11/2017	
Solo. Estado nº	D-373079 (-5A0071)	Cable Fee	5.38
Tipo de Conexión	Monofásica-Aéreo(CT.T)	Imp. Activo (1.4194 a 1.000 kWh)	5.33
Opción Tarifaria	BTSB - Residencial	Imp. Pasivo (Pulsos Activos: 15.3448)	0.43
Medidor Nº	00000001508704 - Electron.	Imp. Consumo	0.21
Nivel	2	Imp. TOTAL	9.29
Lectura Anterior	~ 5,233.00 (20/10/2017)	Imp. Costo de la Energía	1.94
Lectura Actual	7,241.00 (20/11/2017)	Costo Energía Ley N° 11830-11	1.29
Diferencia de Lectura	2,008.00	Costo Tarifa ELECTER 2016	1.30
Factor	1.0000	Tarifa por recargas	0.04
Consumo	2,008 kWh	Diferencia de recargas	0.04
Costo Energía	2,008 kWh	Imp. Costo de la Energía	0.28
Potencia Contratada	0.00 kW	TOTAL FACTURADO DE NOVIEMBRE 2017	9.29
Vigencia Contrato	25/10/2015	Decreto de FORTALECIMIENTO 2013	
Término Contrato	25/10/2018		
Fecha Expiración	23/10/2017		

Impuesto 2 (Impuesto Interno Facturación)

Mar-2017 S/ 8.00      Jun-2017 S/ 8.40

FECHA DE VENCIMIENTO **13/12/2017**

TOTAL A PAGAR **S/ \*\*\*\*\*7.90**

COOP. DE AHORRO Y CREDITO **COOP. C.A.S.A.**  
18 Dic 2017  
**CAJA**  
AGENCIA SAN MIGUEL

Recibo eléctrico de la población del caserío la Zanja, monto facturado S/ 7.90.

RECIBO ELECTRICO N° 2

RECIBO N° 651-12750810 **Julio-2016**  
 Pulan / Santa Cruz / Cajamarca

Para Consultas, su código es: **59413322**  
 Guillen Sánchez, Ricardo Miguel  
 Mz. "A" N° Cas. La Zanja

**Hidrandina**  
 EMPRESA NACIONAL DE SERVICIO PÚBLICO DE  
 ELECTRICIDAD ELECTROSAFID S.A.  
 R.U.C. 20132023540

DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO		IMPORTES FACTURADOS	
Tensión	220 V - BT	Recibo por Consumo del 22/06/2016 al 22/07/2016	
Sub. Estación N°	D-373077 (SR0071)	Cargo Fija	0.00
Tipo de Conexión	Monofásica-Aernea(C1.1)	Exc. Activ. (0.0000 + 24.000 kWh)	0.00
Opción Tarifaria	BT5B - Residencial	Mantenimiento Público (Recuento: 014.4704)	0.00
Medidor N°	000000607587793 - Electrón.	<b>SUB TOTAL</b>	<b>0.00</b>
Hilos	2	Imp. Des. a las Ventas	0.28
Lectura Anterior	0.00 (21/06/2016)	CASE - EA+0.00 (0.0000 + 24.000 kWh)	0.00
Lectura Actual	24.00 (22/07/2016)	Débito por rebóndeo	-0.00
Diferencia de Lectura	0.00	Diferencia de rebóndeo	-0.00
Factor	1.00000	Aporte Ley No. 28740 - 0.0075	0.15
Consumo	24.00 kWh	<b>TOTAL RECIBO DE JULIO 2016</b>	<b>15.50</b>
Cons. Prom. (l)	0.00 kWh	Deducción FOSE Ley N° 27510 S/ 12.15	
Estim. de Consumo			
Potencia Contratada	0.60 kW		
Inicio Contrato	24/06/2013		
Término Contrato	23/06/2017		
Fecha Emisión	24/07/2016		

100 Consumo Facturado kWh. Importe Total S/ 15.50

Importe 2° Último Mes Facturado

Jul - 2016 S/ 0.00	Jul - 2016 S/ 0.00
--------------------	--------------------

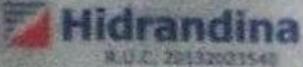
FECHA DE VENCIMIENTO **11/08/2016** **TOTAL A PAGAR S/ \*\*\*\*\*15.50**

RECIBO N° 651-12750810 **Julio-2016**  
 Suministro: 59413322 Guillen Sánchez, Ricardo Migu  
 Pulan / Santa Cruz / Cajamarca/  
 373 - 3071 - 99 / 24/07/2016 / 11/08/2016  
**TOTAL A PAGAR S/ \*\*\*\*\*15.50**

**Hidrandina**  
 R.U.C. 20132023540

Recibo eléctrico de la población del caserío la Zanja, monto facturado S/ 15.50.

**RECIBO ELECTRICO N° 3**

RECIBO N° 651-14288753		Agosto-2017					
Pulani / Santa Cruz / Cajamarca/							
Para Consultas, su código es: <b>58802620</b>			<b>Hidrandina</b> <small>EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PUBLICO DE ELECTRICIDAD ELECTROWORTE MEDIO S.A.</small> <small>Of. Principal: Av. España 1070 - Tarma</small> <small>R.U.C. 20132023540</small> 				
Santa Cruz Suarez, Nora							
Carr. Sector Bajo N° Cas. La Zanja							
DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO		IMPORTES FACTURADOS					
Tensión	220 V - BT	Recibo por Consumo del 22/07/2017 al 21/08/2017					
Sub. Estación N°	D-373075 (SR0071)	Cargo Fijo	5.29				
Tipo de Conexión	Monofásica-Aérea(CT 1)	Ene. Activa(S/ 12.7735 + 0.6180 x 8.0000 kWh)	18.81				
Opción Tarifaria	BT5B - Residencial	Alumbrado Público (Alcaldía - S/ 0.5086)	3.56				
Medidor N°	000090901009210 - Electrón.	Interés Compensatorio	0.05				
Hilos	2	<b>SUB TOTAL</b>	<b>27.71</b>				
Lectura Anterior	1.663.00 (21/07/2017)	Imp. Gral. a las Ventas	4.99				
Lectura Actual	1.701.00 (21/08/2017)	Cargo Energía Ley MCTER 30468	-6.08				
Diferencia de Lectura	38.00	Cargo Fijo Ley MCTER 30468	-1.78				
Factor	1.0000	Diferencia de redondeo	0.05				
Consumo	38.00 kWh	Aporte Ley Nro. 28749 0.0081	0.31				
Cons. Prom.(6)	38.33 kWh						
Potencia Contratada	0.60 kW.	<b>TOTAL RECIBO DE AGOSTO-2017</b>	<b>25.20</b>				
Inicio Contrato	16/03/2012	Descuento FOSE(Ley N°27510) S/ 12.27					
Término Contrato	15/03/2018						
Fecha Emisión	24/08/2017						
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Importes 3 Últimos Meses Facturados</th> </tr> <tr> <td>Jul - 2017 S/ 44.80</td> <td>Ag - 2017 S/ 32.50</td> </tr> </table>		Importes 3 Últimos Meses Facturados		Jul - 2017 S/ 44.80	Ag - 2017 S/ 32.50		
Importes 3 Últimos Meses Facturados							
Jul - 2017 S/ 44.80	Ag - 2017 S/ 32.50						
		 <p>ESTE 22 DE OCTUBRE Apoya a los Censos Nacionales 2017</p>					
<b>FECHA DE VENCIMIENTO</b> 11/09/2017		<b>TOTAL A PAGAR S/ *****25.20</b>					
RECIBO N° 651-14288753 <b>Agosto-2017</b>   Suministro: 58802620 Santa Cruz Suarez, Nora   Pulani / Santa Cruz / Cajamarca/   373 - 3071 - 62 / 24/08/2017 / 11/09/2017   <b>TOTAL A PAGAR S/ *****25.20</b>							
		24					

*Recibo eléctrico de la población del caserío la Zanja, monto facturado S/ 25.20.*

**RECIBO ELECTRICO N° 4**

RECIBO N° 651-12750823		<b>Julio-2016</b>		 <b>Hidrandina</b> <small>EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PUBLICO DE ELECTRICIDAD ELECTROCORTE MEDIO S.A.</small> <small>Of. Principal Av. Sucre 1000 - Trujillo</small> <small>R.U.C. 20132023540</small>
Pulan, Santa Cruz - Cajamarca/		Para Consultas, su código es: <b>45257914</b> <b>Gil Ouispe, Ovilto Beltran</b> Carr. Sector Bato s/n Cas. La Zanja		
DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO		IMPORTES FACTURADOS		
Tensión	220 V - BT	Recibo por Consumo del 22/06/2016 al 22/07/2016		
Súb. Estación N°	D-373078 (SR0071)	Cargo Fijo		5.20
Tipo de Conexión	Monofásica-Aérea(C1.1)	Ene Activa S/ 8.6200 x 0.7533 x 8.0000 kWh		15.76
Opción Tarifaria	BT5B - Residencial	Alumbrado Público (Alcanta) S/ 0.4704		3.29
Medidor N°	000000001439334 - Electrón.	Ajuste Tarifario		0.02
Nilos	2	SUB TOTAL		24.27
Lectura Anterior	2,041.00 (21/06/2016)	Imp. Gral. a las Ventas		4.37
Lectura Actual	2,080.00 (22/07/2016)	CASE - EA x 30 x 100 (S/ 0.6230 x 9.0000 kWh)		0.21
Diferencia de Lectura	39.00	CASE - EACF (S/ 0.6900)		0.69
Factor	1.0000	Saldo por redondeo		0.04
Consumo	39.00 kWh	Diferencia de redondeo		0.01
Cons. Prom.(6)	39.50 kWh	Aporte Ley Nro. 28749	0.9079	0.31
Potencia Contratada	0.80 kW.	TOTAL RECIBO DE JULIO-2016		29.90
Inicio Contrato	26/10/2009	Descuento FOSE(Ley N°27510) S/ 15.18		
Término Contrato	25/10/2016			
Fecha Emisión	24/07/2016			

Mes	Consumo Facturado (kWh)	Importe Total (S/.)
Jan	20	20
Feb	25	25
Mar	20	20
Abr	25	25
May	25	25
Jun	25	25
Jul	39	29.90

May - 2016 S/ 25.00	Jun - 2016 S/ 25.00
---------------------	---------------------

☺ ☺ ☺

<b>FECHA DE VENCIMIENTO</b>	<b>11/08/2016</b>	<b>TOTAL A PAGAR</b>	<b>S/ *****29.90</b>
-----------------------------	-------------------	----------------------	----------------------

RECIBO N° 651-12750823	<b>Julio-2016</b>
Suministro: 45257914	Gil Ouispe, Ovilto Beltran
Pulan, Santa Cruz - Cajamarca/	
373 - 3071 - 39	/ 24/07/2016 / 11/08/2016
<b>TOTAL A PAGAR</b>	<b>S/ *****29.90</b>





R.U.C. 20132023540

*Recibo eléctrico de la población del caserío la Zanja, monto facturado S/ 29.90.*

## ANEXO N° 5

### ESTRUCTURA DEL PROGRAMA PARA CALCULAR EL CONSUMO ELECTRICO.

```
1  % HIDRANDINA - Programa para calcular el Consumo energético según recibos
2  % Lugar: Caserío La Zanja
3  % Fecha: 16/05/18
4  %-----
5 - clear, clc, close all
6  % DATOS DE ENTRADA
7 - x=[7.9 15.5 25.2 29.9];
8 - y=[8 24 38 39];
9  % DATOS DE SALIDA
10 - plot(x1,y1)
11 - title('Consumo Eléctrico vs Facturación')
12 - xlabel('Facturación del Recibo (S/.)'); ylabel('Consumo eléctrico (KWh)')
13 - hold on
14 - plot(x,y,'r*')
15 - plot(x2,y2,'o')
16  % ETIQUETAS
17 - fprintf('El consumo eléctrico para 10 soles es %2.2f KWh\n', y2(1));
18 - fprintf('El consumo eléctrico para 15 soles es %2.2f KWh\n', y2(2));
19 - fprintf('El consumo eléctrico para 20 soles es %2.2f KWh\n', y2(3));
20 - text(8,12.49,'12.49 KWh')
21 - text(13,23.01,'23.01 KWh')
22 - text(18,32.00,'32.00 KWh')
```

#### Command Window

```
El consumo eléctrico para 10 soles es 12.49 KWh
El consumo eléctrico para 15 soles es 23.01 KWh
El consumo eléctrico para 20 soles es 32.00 KWh
```

## ANEXO N° 6

### CALCULO DE DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR.

Para el dimensionamiento del biodigestor, se tuvo en consideración varios parámetros de diseño, tales como, el consumo eléctrico de la población del caserío la Zanja, los valores de producción de biogás a partir del estiércol disponible, etc. El tanque biodigestor es diseñado según la necesidad de la población, ya que la cantidad disponible de estiércol es de 5836.5 Kg/diario. En la sección 3.2 se determinó el consumo energético de la población del caserío la Zanja, obteniendo los datos de una encuesta aplicada a los pobladores del caserío, siendo este de 557.56 kW.h/mes.

#### Datos Generales:

Producción de Biogás, Pb	0.04	m <sup>3</sup> /Kg.
Poder energético, P	6	kWh/m <sup>3</sup> de biogás.
Consumo Energético, E	557.56	kW.h/mes.

El valor de la producción de biogás se obtuvo de las Características generales del biogás mostradas en la figura 13 (FAO, 2011). El valor del poder calorífico se obtuvo Producción de biogás mostrada en la figura 14 (FAO, 2011).

#### Consumo Energético

$$E = 557.56 \text{ kW.h/mes}$$

#### Consumo Energético Diario

$$E_d = \frac{E}{30} \text{ kW} \cdot \frac{h}{\text{día}}$$

$$E_d = \frac{557.56}{30}$$

$$E_d = 18.59 \text{ kW} \cdot \frac{h}{\text{día}}$$

#### Consumo de Biogás

$$C = \frac{E_d}{P}$$

$$C = \frac{18.59 \text{ kWh/día}}{6 \text{ kWh/m}^3}$$

$$C = 3.1 \text{ m}^3$$

### **Volumen del biogás**

$$V_c = C$$

$$V_c = 3.1 \text{ m}^3$$

### **Volumen del biodigestor**

$$V_d = \frac{V_c}{0.25} \text{ m}^3$$

$$V_d = \frac{3.1}{0.25}$$

$$V_d = 12.4 \text{ m}^3$$

### **Volumen de la Cámara de Fermentación.**

$$V_{cf} = (V_d * 0.75)$$

$$V_{cf} = (12.4 * 0.75)$$

$$V_{cf} = 9.3 \text{ m}^3$$

### **Relación Diámetro-Altura de la Cámara de Fermentación.**

Para determinar los parámetros de diámetro y altura de la cámara de fermentación, a “X” tomo varios valores, para el diseño del biodigestor, se consideró el valor más óptimo 0.96.

$$X = \frac{D_{cf}}{H_{cf}}$$

$$X = 0.96$$

### **Altura de la Cámara de Fermentación.**

$$H_{cf} = \sqrt[3]{\frac{4V_{cf}}{\pi X^2}}$$

$$H_{cf} = \sqrt[3]{\frac{4 * (9.3 \text{ m}^3)}{\pi (0.96 \text{ m})^2}}$$

$$H_{cf} = \sqrt[3]{\frac{37.2}{\pi(0.96)^2}}$$

$$H_{cf} = 2.34 \text{ m}$$

#### **Diámetro de la Cámara de Fermentación.**

$$D_{cf} = \sqrt{\frac{4 * V_{cf}}{\pi * H_{cf}}}$$

$$D_{cf} = \sqrt{\frac{4 * 9.3}{\pi * (2.34)}}$$

$$D_{cf} = 2.25 \text{ m}$$

#### **Radio de la Cámara de Fermentación.**

$$r_{cf} = \frac{D_{cf}}{2}$$

$$r_{cf} = \frac{2.25}{2}$$

$$r_{cf} = 1.125 \text{ m}$$

#### **Radio de la Cúpula.**

$$r_c = \sqrt{H_{cf}^2 + r_{cf}^2}$$

$$r_c = \sqrt{(2.34 \text{ m})^2 + (1.125 \text{ m})^2}$$

$$r_c = 2.6 \text{ m}$$

#### **Altura de la Cúpula.**

$$h_c = r_c - H_{cf}$$

$$h_c = 2.6 \text{ m} - 2.34 \text{ m}$$

$$h_c = 0.26 \text{ m}$$

#### **Volumen de la Sección Cónico**

$$V_{sc} = \frac{(\pi R^2 + \pi r^2) * h}{2}$$

$$V_{sc} = \frac{(\pi R^2 + \pi r^2) * h}{2}$$

$$h = 1 \text{ m}$$

$$V_{sc} = \frac{\pi(1^2 + 0.5^2) * 1}{2}$$

$$V_{sc} = 2.584 \text{ m}^3$$

### **Cálculo de espesores de las paredes del biodigestor.**

La presión de operación del biodigestor se toma de las recomendaciones de diseño de la *Sección 3.3*, donde nos indica el rango de presión interna del recipiente es de 0.5 a 1.5 bar, para este caso trabajaremos con el valor medio (1 bar), también tendremos en cuenta para el cálculo el margen por corrosión, aplicado a los aceros cuando están expuestos a ambientes corrosivos, este valor es equivalente a 0.125 pulgadas.

Calculamos la presión de diseño, debemos determinar la presión hidrostática en el tanque biodigestor.

$$P_d = P_h + P_o$$

$$P_d = 4.70 \text{ PSI} + 14.5 \text{ PSI}$$

$$P_d = 19.2 \text{ PSI}$$

Calculamos la presión hidrostática:

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

Donde:

$P_h$ : Presión de Hidrostática

$\rho$ : Densidad,  $966.4 \text{ kg/m}^3$

$g$ : Gravedad,  $9.81 \text{ m/s}^2$

$h$ : Altura, 3.42 m

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

$$P_h = 966.4 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 3.42 \text{ m}$$

$$P_h = 32.423 \text{ KPa} = 4.70 \text{ PSI}$$

De la *Formula 14*, descrita en la *Sección 1.7.9.3* calculamos el espesor de las paredes del biodigestor.

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

Donde:

P: Presión de Diseño,  $P_d = P_h + P_o = 19.2$  PSI

R: Radio interior, 44.30 pulgadas

S: Valor del esfuerzo del material, 205 000 KPa = 29732.73 PSI

E: Eficiencia de la junta, 0.6

C.A: Margen por corrosión, 0.125 pulg.

$$t = \frac{19.2 \text{ PSI} \times 44.30''}{29732.73 \text{ PSI} \times 0.6 - 0.6 \times 19.2 \text{ PSI}} + C.A$$

$$t = 0.047 \text{ pulg.} + 0.125 \text{ pulg.}$$

$$t = 0.172 \text{ pulg.}$$

$$t = 4.37 \text{ mm}$$

\* El espesor de las paredes de la cámara de fermentación será de 4.37 mm.

### **Cálculo de espesor de la cúpula.**

Para determinar el espesor de la cúpula, utilizaremos la *Formula 15* de la *Sección 1.7.9.3*.

$$t = \frac{PLM}{2SE - P(M - 0.2)}$$

Donde:

t : Espesor de la pared

P : Presión de operación, 14.5 PSI

L : Radio interior, 44.30 pulgadas

S : Valor del esfuerzo del material, 29732.73 PSI

E : Eficiencia de la junta, 0.6

M : Relación  $\frac{L}{r}$ , 1.44

C.A: Margen por corrosión, 0.125 pulg.

$$t = \frac{14.5 \text{ PSI} \times 44.30'' \times 1.44}{2 \times 29732.73 \text{ PSI} \times 0.6 - 14.5 \text{ PSI} \times (1.44 - 0.2)} + 0.125''$$

$$t = 0.151''$$

$$t = 3.84 \text{ mm}$$

\* El espesor de las paredes de la cúpula será de 3.84 mm.

ANEXO N° 7

EFICIENCIA EN JUNTAS SOLDADAS "E".

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS		EFICIENCIA DE LA JUNTA, E		
TIPOS NORMA UW-12		Cuando la junta es:		
		a. Radiografiada total- mente	b. Examinada por zonas	c. No Examinada
1	 <p>Jointa a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza. Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse ésta después de terminar la soldadura.</p>	1.00	0.85	0.70
2	 <p>Jointa a tope de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de soldar</p> <p>En juntas circunferenciales únicamente</p>	0.90	0.80	0.65
3	 <p>Jointa a tope de un solo cordón sin tira de respaldo</p>	—	—	0.60
4	 <p>Jointa a traslape de doble filete completo</p>	—	—	0.55
5	 <p>Jointa a traslape de un solo filete completo con soldaduras de tapón</p>	—	—	0.50
6	 <p>Jointa a traslape de un solo filete completo sin soldaduras de tapón</p>	—	—	0.45

## ANEXO N° 8

### DETERMINACIÓN DE DIÁMETRO DEL RODETE AGITADOR.

#### Diámetro del rodete “Da”

De la *Formula 30*, se obtiene:

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{D_a}{2.25 \text{ m}} = \frac{1}{3}$$

$$D_a = 0.75 \text{ m}$$

De las recomendaciones de diseño en la *Sección 3.3*, se obtiene las relaciones geométricas del rodete respecto al diámetro interior del tanque biodigestor. Debido a las propiedades del estiércol y agua, se aumenta el 30% para la longitud de las aletas, obteniéndose:

$$D_a = 0.75 \times 1.3 = 0.975 \text{ m}$$

El diámetro del rodete y aletas del agitador serán de 0.975 m, para facilitar la secuencia de cálculo se tendrá en cuenta el diámetro total de 1 m.

De la Figura 19, calculamos las distancias del agitador.

#### Distancia de la base del tanque respecto al rodete “E”.

$$\frac{E}{D_a} = 1$$

$$\frac{E}{1 \text{ m}} = 1$$

$$E = 1 \text{ m}$$

#### Altura del eje del agitador “H”

$$H = 2.68 \text{ m} = 2680 \text{ mm}$$

### Altura de la aleta del agitador (W)

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{6}$$

$$\frac{W}{1} = \frac{1}{6}$$

$$W = 0.167 \text{ m} = 167 \text{ mm}$$

### Longitud de la aleta del agitador "L"

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

$$\frac{L}{1} = \frac{1}{4}$$

$$L = 0.25 \text{ m} = 250 \text{ mm}$$

De la figura 17 de la sección 1.3.10.4, se determina el número de potencia utilizando el número de Reynolds empleando los datos de viscosidad y rango de velocidades mencionados anteriormente ( $u_1$ ,  $u_2$ ,  $r_1$  y  $r_2$ )

$$R_{e_1} = \frac{\left(\frac{936 \text{ Kg}}{\text{m}^3}\right)(1 \text{ rps})(1 \text{ m})^2}{0.96 \text{ Pa.s}} = \frac{936}{0.96} = 975$$

$$N_p = 2.8$$

$$R_{e_2} = \frac{\left(\frac{936 \text{ Kg}}{\text{m}^3}\right)(2 \text{ rps})(1 \text{ m})^2}{0.96 \text{ Pa.s}} = \frac{1872}{0.96} = 1950$$

$$N_p = 2$$

$$R_{e_3} = \frac{\left(\frac{936 \text{ Kg}}{\text{m}^3}\right)(1 \text{ rps})(1 \text{ m})^2}{0.50 \text{ Pa.s}} = \frac{936}{0.50} = 1872$$

$$N_p = 2$$

$$Re_4 = \frac{\left(\frac{936 \text{Kg}}{\text{m}^3}\right)(2 \text{rps})(1 \text{m})^2}{0.50 \text{Pa.s}} = \frac{(1872)}{0.50} = 3744$$

$$N_p = 2$$

**Cálculo de Potencia requerida para el agitador.**

$$P = \frac{N_p N^3 D^5 \rho}{g_c}$$

$$P_1 = \frac{(2.8)(1 \text{rps})^3 (1 \text{m})^5 \left(936 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 267.16 \text{ W}$$

$$P = \frac{267.16}{1000} = 0.27 \text{ KW} = 0.36 \text{ HP}$$

$$P_2 = \frac{(2)(2 \text{rps})^3 (1 \text{m})^5 \left(936 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1526.61 \text{ W}$$

$$P = \frac{1526.61}{1000} = 1.53 \text{ KW} = 2.05 \text{ HP}$$

$$P_3 = \frac{(2)(1 \text{rps})^3 (1 \text{m})^5 \left(936 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 190.83 \text{ W}$$

$$P = \frac{190.83}{1000} = 0.2 \text{ KW} = 0.27 \text{ HP}$$

$$P_4 = \frac{(2)(2 \text{rps})^3 (1 \text{m})^5 \left(936 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1526.61 \text{ W}$$

$$P = \frac{1526.61}{1000} = 1.53 \text{ KW} = 2.05 \text{ HP}$$

### **Cálculo del torque.**

De la fórmula 26 se obtienen los siguientes datos para la ecuación, tenemos que calcular primeramente la velocidad angular en  $\frac{Rad}{s}$ .

$$W = \frac{2\pi \times 120}{60}$$

$$W = 12.566 \frac{Rad}{s}$$

$$T = \frac{1576.68}{12.566}$$

$$T = 125.47 \text{ N.m}$$

### **Calculo del diámetro del eje.**

De la fórmula 28 se obtienen los siguientes datos:

$$d = \sqrt[3]{\frac{(2)(16) \cdot T \cdot Fs}{\pi \cdot Sy}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{2 \times 16 \times 121.56 \times 9}{\pi \times (205 \times 10^6)}}$$

$$d = 37.88 \text{ mm}$$

## ANEXO N° 9

### FORMULA DEL CALCULO DE POTENCIA

La siguiente formula se empleó para determinar la potencia mediante el programa MATLAB – GUI.

$$N_p = -1.48 * 10^{-12} Re^4 + 6.04118 * 10^{-9} Re^3 - 8.3987 * 10^{-6} Re^2 + 3.076995 * 10^{-3} Re + 3.382783045$$

Esta fórmula de potencia del agitador sirve para valores de Reynolds entre 100 y 1500 aproximadamente. Para valores de Reynolds superiores a 1500 se asume un número de potencia de 2.

$$N_p = -1.48 * 10^{-12} \left(\frac{\rho DN}{\mu}\right)^4 + 6.04118 * 10^{-9} \left(\frac{\rho DN}{\mu}\right)^3 - 8.3987 * 10^{-6} \left(\frac{\rho DN}{\mu}\right)^2 + 3.076995 * 10^{-3} \left(\frac{\rho DN}{\mu}\right) + 3.382783045$$

$$P = \left[ -1.48 * 10^{-12} \left(\frac{\rho DN}{\mu}\right)^4 + 6.04118 * 10^{-9} \left(\frac{\rho DN}{\mu}\right)^3 - 8.3987 * 10^{-6} \left(\frac{\rho DN}{\mu}\right)^2 + 3.076995 * 10^{-3} \left(\frac{\rho DN}{\mu}\right) + 3.382783045 \right] \frac{N^3 * D^5 * \rho}{g}$$

Como se observa la potencia varía en función del diámetro del agitador y la velocidad de rotación.

## ANEXO N° 10

### DATOS TÉCNICOS DEL MOTORREDUCTOR

<b>▼ Gearmotor</b>	
Agma Class 2	*
Base Gear Motor Weight	507 lb
(DV) IsCatalog	0
<b>▼ Gearbox</b>	
Number of stages	2 :1
Output speed (n2_05)	55 rpm
Max torque (Ma_05)	7762 lb-in
Input speed (n1_05)	1750 rpm
Input power max (Pe_05)	6.77 hp
Input speed (n1_04)	1150 rpm
Output speed (n2_04)	36 rpm
Max torque (Ma_04)	7762 lb-in
Input power max (Pe_04)	4.47 hp
Input speed (n1_03)	875 rpm
Output speed (n2_03)	27 rpm
Max torque (Ma_03)	7762 lb-in
Input power max (Pe_03)	3.39 hp
Input speed (n1_02)	580 rpm
Output speed (n2_02)	18 rpm
Max torque (Ma_02)	7762 lb-in
Input power max (Pe_02)	2.23 hp
Input speed (n1_01)	300 rpm
Output speed (n2_01)	9.4 rpm
Max torque (Ma_01)	7762 lb-in
Input power max (Pe_01)	1.16 hp
Oil quantity main	3.8

## DATOS TÉCNICOS DEL MOTORREDUCTOR

(Continuación)

<b>▼ Oil Quantity</b>	
Oil quantity	4.02 qt
<b>▼ Motor</b>	
Motor Speed	1770 rpm
Motor power (Pn2)	3 hp
Speed (nn2)	1770 rpm
Current (In1)	6.65 A
Current (In2)	3.84 A
Efficiency 2 (100% Load)	90 %
Rated torque (Mn2)	105 lb-in
Motor Inertia	0.18 lb-ft <sup>2</sup>
Synchronous speed 2	1800 rpm
Power factor 2	0.79
Max ambient temperature	40 °C
Max elevation	1000 ft
Insulation class	F
Temperature rise class	B
Voltage 1	265 VAC
Voltage 2	460 VAC
Frequency	60 Hz
Locked rotor torque ratio (Ma/Mn2)	3
Breakdown torque ratio (Mk/Mn2)	4.5
Locked rotor current ratio (Ia/In2)	5.3
FR	1300
FA	1100

## ANEXO N° 11

### DATOS TÉCNICOS DEL MATERIAL

22/1/2019

304 Stainless Steel (UNS S30400); Cold Finished and Annealed Bar

#### 304 Stainless Steel (UNS S30400); Cold Finished and Annealed Bar

**Categories:** [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Heat Resisting](#); [Stainless Steel](#); [T 300 Series Stainless Steel](#)

**Material Notes:** Austenitic Cr-Ni stainless steel. Better corrosion resistance than Type 302. High ductility, excellent drawing, forming, and spinning properties. Essentially non-magnetic, becomes slightly magnetic when cold worked. Low carbon content means less carbide precipitation in the heat-affected zone during welding and a lower susceptibility to intergranular corrosion.

**Applications:** beer kegs, bellows, chemical equipment, coal hopper linings, cooking equipment, cooling coils, cryogenic vessels, dairy equipment, evaporators, flatware utensils, feedwater tubing, flexible metal hose, food processing equipment, hospital surgical equipment, hypodermic needles, kitchen sinks, marine equipment and fasteners, nuclear vessels, oil well filter screens, refrigeration equipment, paper industry, pots and pans, pressure vessels, sanitary fittings, valves, shipping drums, spinning, still tubes, textile dyeing equipment, tubing.

**Corrosion Resistance:** resists most oxidizing acids and salt spray.

UNS S30400; AMS 5501, 5513, 5560, 5565; ASME SA182, SA194 (8), SA213, SA240; ASTM A167, A182, A193, A194

**Key Words:** aisi304, AISI 304, T304, T 304, SUS304, SS304, 304SS, 304 SS, UNS S30400, AMS 5501, AMS 5513, AMS 5560, AMS 5565, AMS 5566, AMS 5567, AMS 5639, AMS 5697, ASME SA182, ASME SA194 (8), ASME SA213, ASME SA240, ASME SA249, ASME SA312, ASME SA320 (B8), ASME SA358, ASME SA376, ASME SA403, ASME SA409, ASME SA430, ASME SA479, ASME SA688, ASTM A167, ASTM A182, ASTM A193, ASTM A194, ASTM A666, FED QQ-S-763, MILSPEC MIL-S-5059, SAE 30304, DIN 1.4301, X5CrNi189, B.S. 304 S 15, EN 58E, PN 86020 (Poland), OH18N9, ISO 4954 X5CrNi189E, ISO 683/13 11, 18-8

**Vendors:** No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	8.00 g/cc	0.289 lb/in <sup>3</sup>	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate 	>= 515 MPa @Thickness >=12.7 mm	>= 74700 psi @Thickness >=0.500 in	
	>= 515 MPa @Thickness >=12.7 mm	>= 74700 psi @Thickness >=0.500 in	
	>= 620 MPa @Thickness <=12.7 mm	>= 89900 psi @Thickness <=0.500 in	
	>= 620 MPa @Thickness <=12.7 mm	>= 89900 psi @Thickness <=0.500 in	
Tensile Strength, Yield 	>= 205 MPa @Strain 0.200 %, Thickness >=12.7 mm	>= 29700 psi @Strain 0.200 %, Thickness >=0.500 in	
	>= 205 MPa @Strain 0.200 %, Thickness >=12.7 mm	>= 29700 psi @Strain 0.200 %, Thickness >=0.500 in	
	>= 310 MPa @Strain 0.200 %, Thickness <=12.7 mm	>= 45000 psi @Strain 0.200 %, Thickness <=0.500 in	
	>= 310 MPa @Strain 0.200 %, Thickness <=12.7 mm	>= 45000 psi @Strain 0.200 %, Thickness <=0.500 in	
Elongation at Break 	>= 30 % @Thickness <=12.7 mm	>= 30 % @Thickness <=0.500 in	
	>= 30 % @Thickness >=12.7 mm	>= 30 % @Thickness >=0.500 in	
	>= 30 % @Thickness <=12.7 mm	>= 30 % @Thickness <=0.500 in	
	>= 30 % @Thickness >=12.7 mm	>= 30 % @Thickness >=0.500 in	
Reduction of Area 	>= 40 % @Thickness <=12.7 mm	>= 40 % @Thickness <=0.500 in	

[http://www.matweb.com/search/datasheet\\_print.aspx?matguid=bf90e2d6ebdf4e55b3280422f7942d60](http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=bf90e2d6ebdf4e55b3280422f7942d60)

1/2

# DATOS TÉCNICOS DEL MATERIAL

## (Continuación)

22/1/2019

304 Stainless Steel (UNS S30400); Cold Finished and Annealed Bar

	>= 40 % @Thickness >=12.7 mm	>= 40 % @Thickness >=0.500 in
	>= 40 % @Thickness <=12.7 mm	>= 40 % @Thickness <=0.500 in
	>= 40 % @Thickness >=12.7 mm	>= 40 % @Thickness >=0.500 in
Modulus of Elasticity	193 GPa	28000 ksi
Poissons Ratio	0.29	0.29
Shear Modulus	77.0 GPa	11200 ksi

Electrical Properties	Metric	English	Comments
-----------------------	--------	---------	----------

Electrical Resistivity 	0.0000720 ohm-cm @Temperature 20.0 °C	0.0000720 ohm-cm @Temperature 68.0 °F	
	0.000116 ohm-cm @Temperature 650 °C	0.000116 ohm-cm @Temperature 1200 °F	
Magnetic Permeability	1.020	1.020	at RT

Thermal Properties	Metric	English	Comments
--------------------	--------	---------	----------

CTE, linear 	17.3 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 100 °C	9.61 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 212 °F	
	17.8 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 315 °C	9.89 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 599 °F	
	18.4 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 538 °C	10.2 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 1000 °F	
	18.7 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 650 °C	10.4 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 1200 °F	
Specific Heat Capacity	0.500 J/g-°C @Temperature 0.000 - 100 °C	0.120 BTU/lb-°F @Temperature 32.0 - 212 °F	
Thermal Conductivity 	16.2 W/m-K @Temperature 0.000 - 100 °C	112 BTU-in/hr-ft²-°F @Temperature 32.0 - 212 °F	
	21.5 W/m-K @Temperature 500 °C	149 BTU-in/hr-ft²-°F @Temperature 932 °F	
Melting Point	1400 - 1455 °C	2550 - 2651 °F	
Solidus	1400 °C	2550 °F	
Liquidus	1455 °C	2651 °F	

Component Elements Properties	Metric	English	Comments
-------------------------------	--------	---------	----------

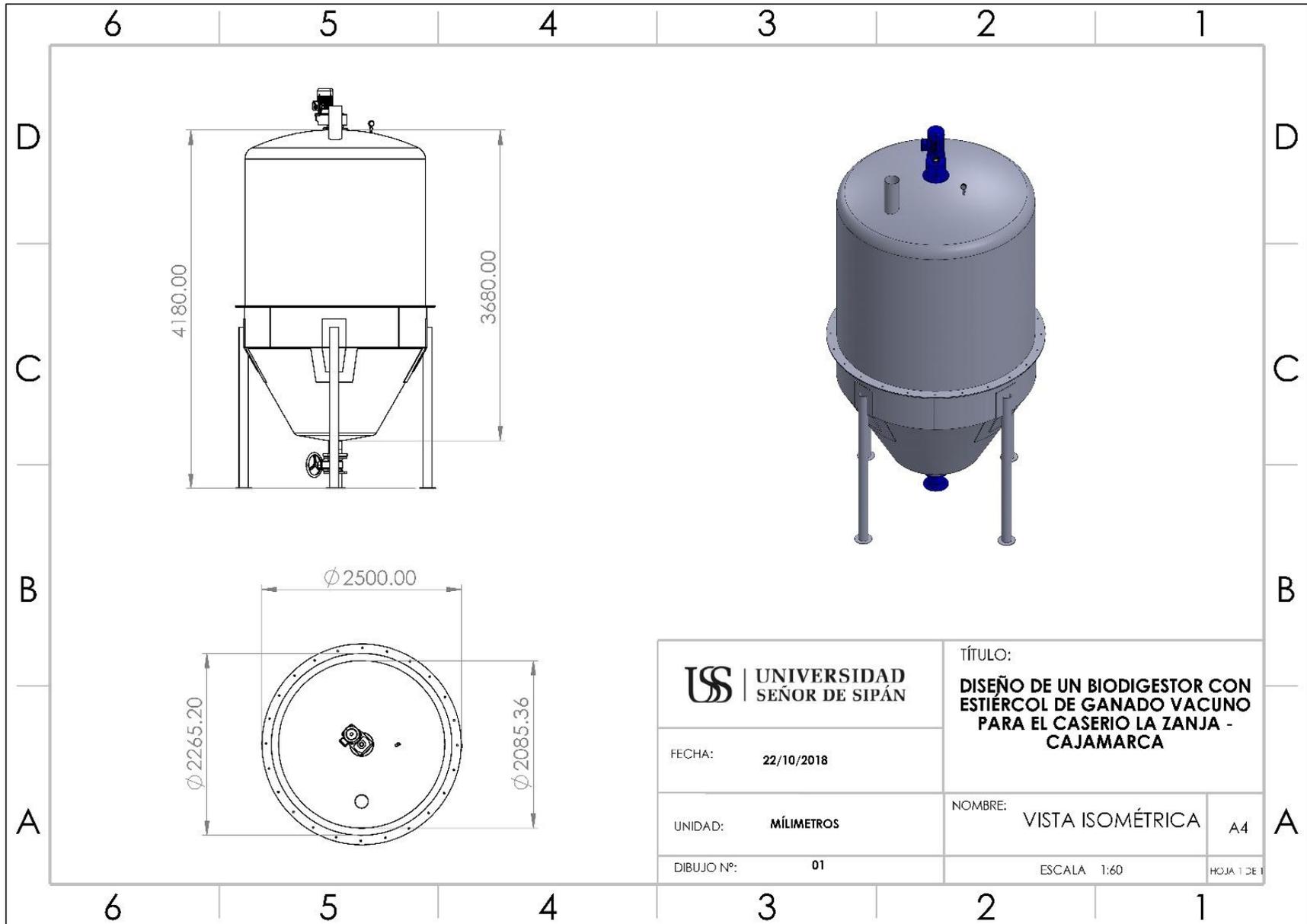
Carbon, C	<= 0.080 %	<= 0.080 %	
Chromium, Cr	18 - 20 %	18 - 20 %	
Iron, Fe	66.345 - 74 %	66.345 - 74 %	As remainder
Manganese, Mn	<= 2.0 %	<= 2.0 %	
Nickel, Ni	8.0 - 10.5 %	8.0 - 10.5 %	
Phosphorous, P	<= 0.045 %	<= 0.045 %	
Silicon, Si	<= 1.0 %	<= 1.0 %	
Sulfur, S	<= 0.030 %	<= 0.030 %	

### Descriptive Properties

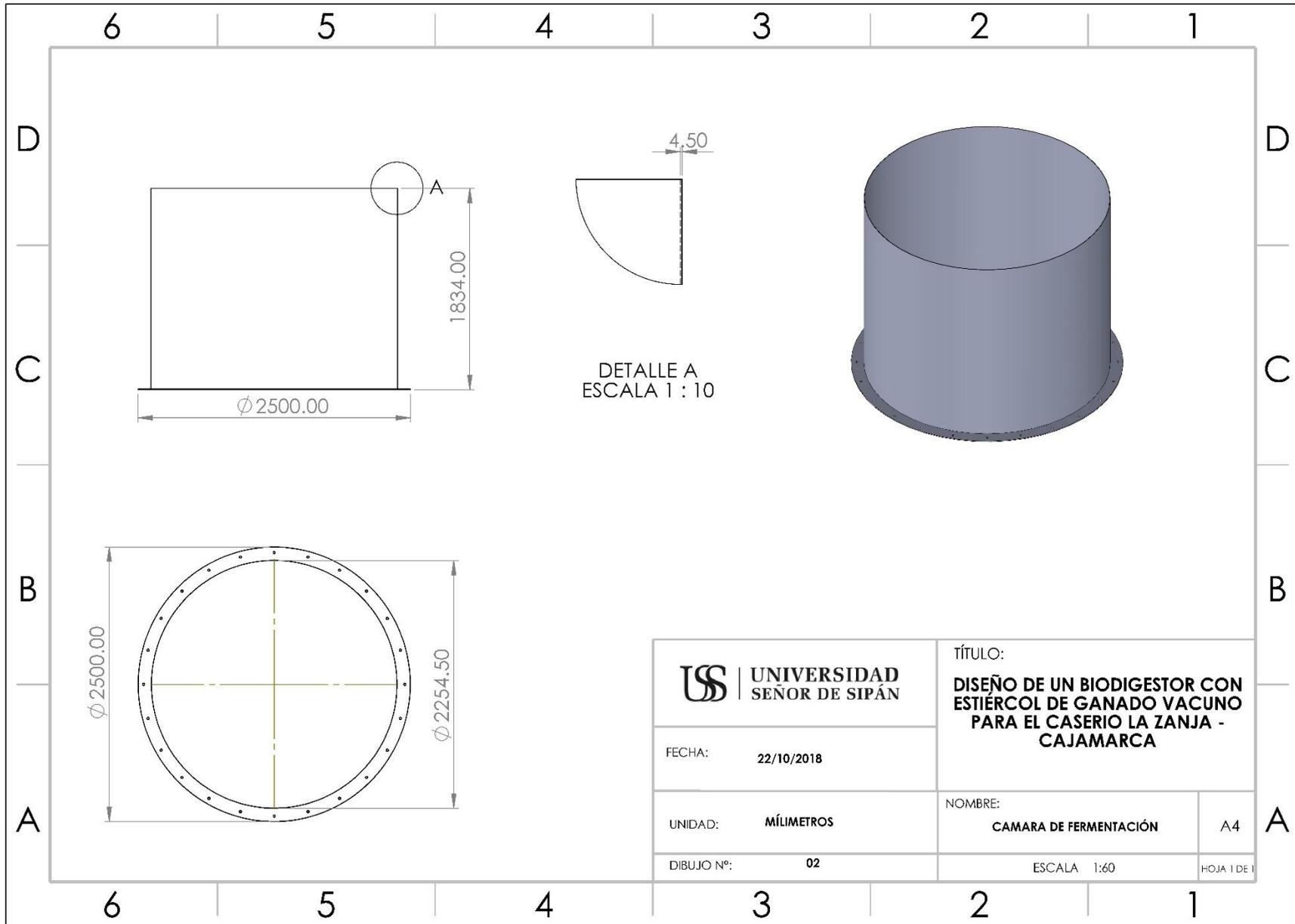
Specification	ASTM A 276
---------------	------------

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

**ANEXO N° 12**  
**DISEÑO DEL BIODIGESTOR**  
**(PLANOS)**

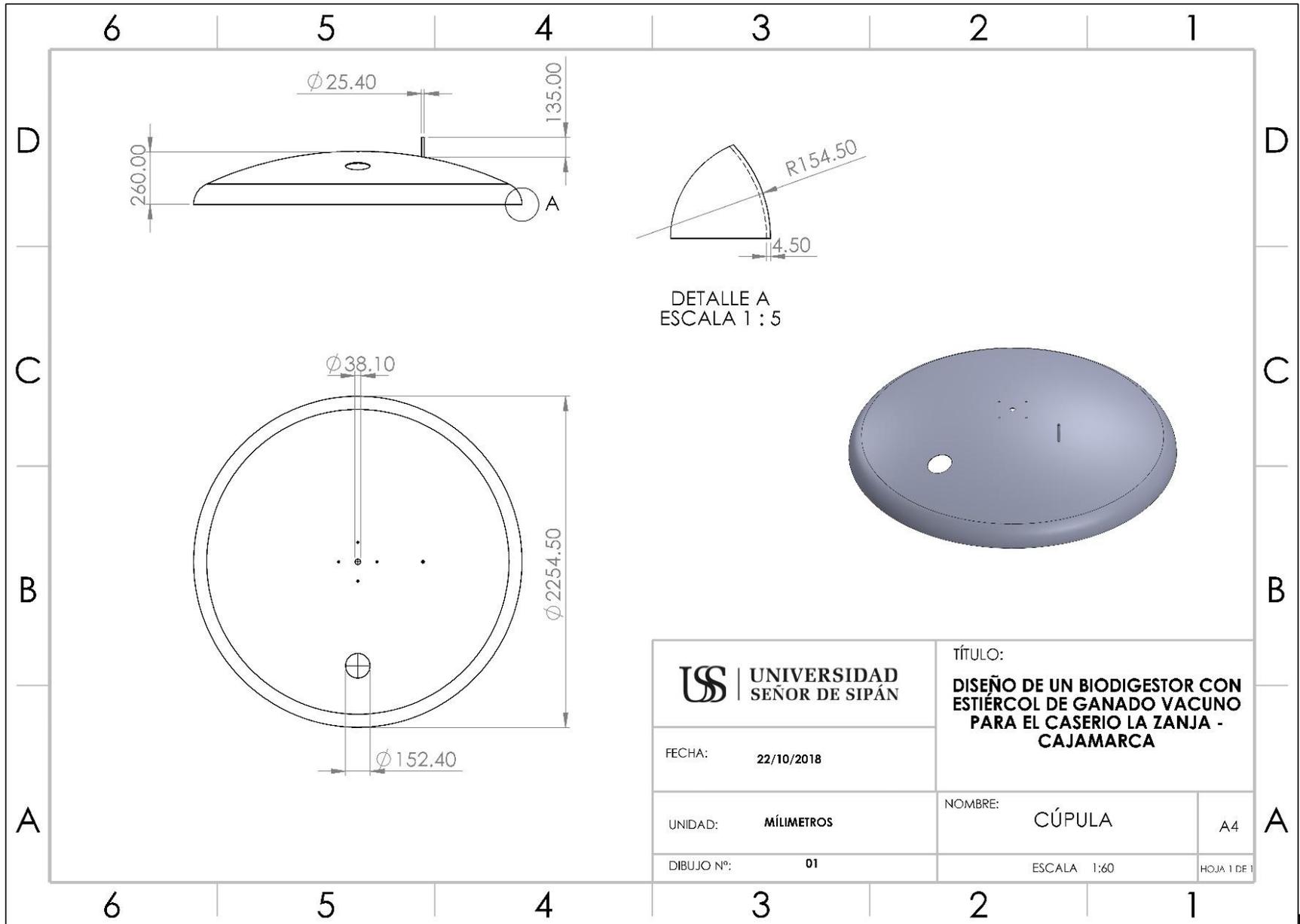


 <b>UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN</b>	<b>TÍTULO:</b> <b>DISEÑO DE UN BIODIGESTOR CON ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO PARA EL CASERIO LA ZANJA - CAJAMARCA</b>	
	<b>FECHA:</b> 22/10/2018	<b>NOMBRE:</b> VISTA ISOMÉTRICA
<b>UNIDAD:</b> MÍLIMETROS	ESCALA 1:60	A4
<b>DIBUJO Nº:</b> 01	HOJA 1 DE 1	

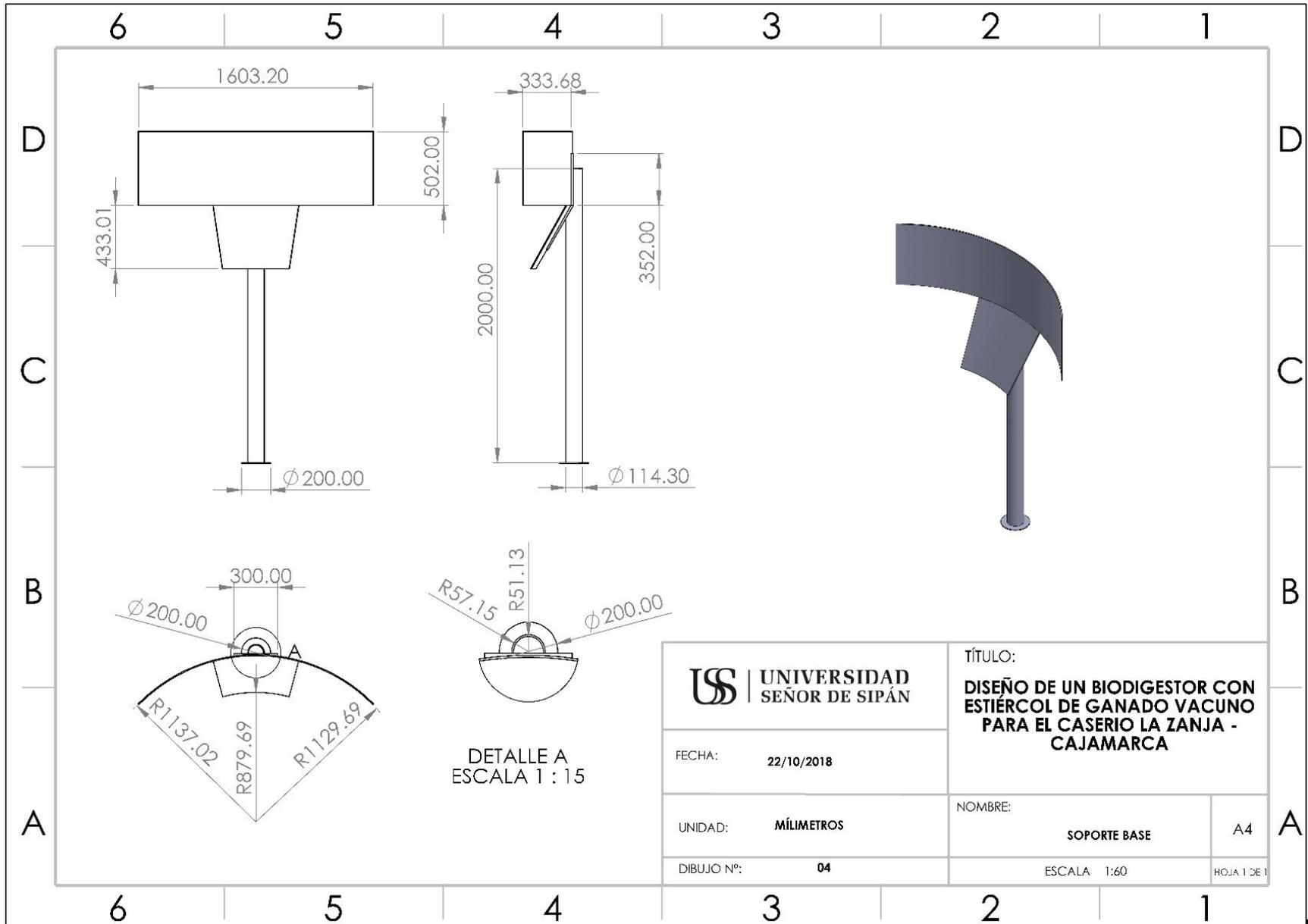


DETALLE A  
ESCALA 1 : 10

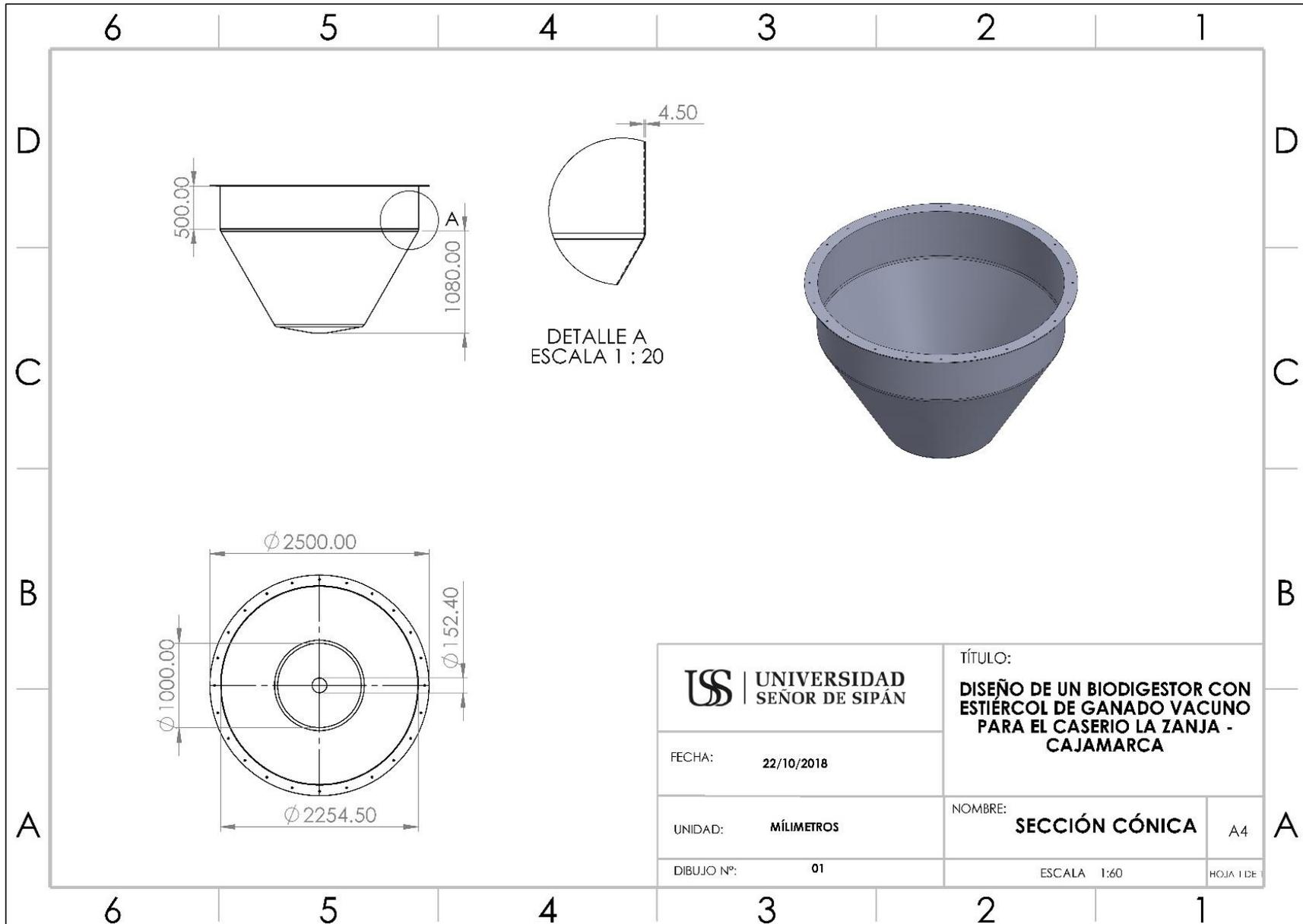
 <b>UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN</b>	<b>TÍTULO:</b> <b>DISEÑO DE UN BIODIGESTOR CON ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO PARA EL CASERIO LA ZANJA - CAJAMARCA</b>	
	FECHA: <b>22/10/2018</b>	
UNIDAD: <b>MÍLIMETROS</b>	NOMBRE: <b>CAMARA DE FERMENTACIÓN</b>	<b>A4</b>
DIBUJO Nº: <b>02</b>	ESCALA <b>1:60</b>	HOJA 1 DE 1



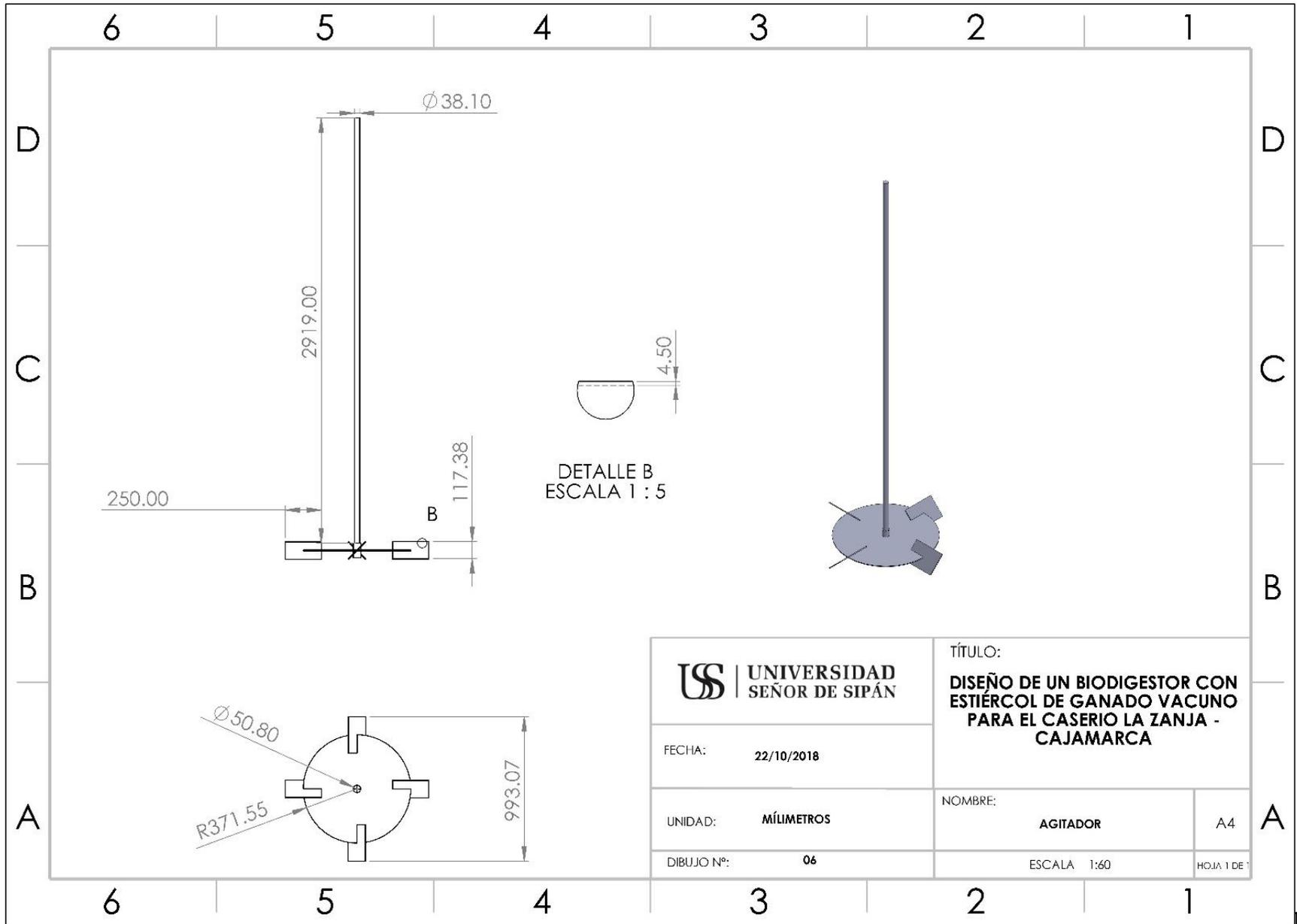
<b>UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN</b>	<b>TÍTULO:</b> <b>DISEÑO DE UN BIODIGESTOR CON ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO PARA EL CASERIO LA ZANJA - CAJAMARCA</b>		
	<b>FECHA:</b> 22/10/2018	<b>NOMBRE:</b> CÚPULA	
<b>UNIDAD:</b> MÍLIMETROS	<b>DIBUJO N°:</b> 01	<b>ESCALA:</b> 1:60	<b>HOJA:</b> 1 DE 1



	<b>TÍTULO:</b> <b>DISEÑO DE UN BIODIGESTOR CON ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO PARA EL CASERIO LA ZANJA - CAJAMARCA</b>		
	<b>FECHA:</b> 22/10/2018	<b>NOMBRE:</b> SOPORTE BASE	
<b>UNIDAD:</b> MÍLIMETROS	ESCALA 1:60		A4
<b>DIBUJO N°:</b> 04	HOJA 1 DE 1		



 <b>UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN</b>	<b>TÍTULO:</b> <b>DISEÑO DE UN BIODIGESTOR CON ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO PARA EL CASERIO LA ZANJA - CAJAMARCA</b>	
	<b>FECHA:</b> 22/10/2018	<b>NOMBRE:</b> SECCIÓN CÓNICA
<b>UNIDAD:</b> MÍLIMETROS	<b>ESCALA:</b> 1:60	<b>A4</b>
<b>DIBUJO Nº:</b> 01	<b>HOJA 1 DE</b>	



DETALLE B  
ESCALA 1 : 5

	<b>TÍTULO:</b> <b>DISEÑO DE UN BIODIGESTOR CON ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO PARA EL CASERIO LA ZANJA - CAJAMARCA</b>		
	<b>FECHA:</b> 22/10/2018	<b>NOMBRE:</b>	
<b>UNIDAD:</b> MÍLIMETROS	<b>AGITADOR</b>	A4	
<b>DIBUJO Nº:</b> 06	<b>ESCALA</b> 1:60	HOJA 1 DE 1	

