

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BIODIGESTORES PARA EL
APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS
ORGÁNICOS DEL CAMAL MUNICIPAL DE JAÉN – PERÚ**

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

AUTORES: Bach. Denis Collasos Correa
Bach. Lenin Edinson Vargas Pérez

ASESOR: M. SC. Ing. Walter Linder Cabrera Torres

JAÉN – PERÚ, NOVIEMBRE, 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BIODIGESTORES PARA EL
APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS
ORGÁNICOS DEL CAMAL MUNICIPAL DE JAÉN – PERÚ**

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

AUTORES: Bach. Denis Collasos Correa
Bach. Lenin Edinson Vargas Pérez

ASESOR: M. SC. Ing. Walter Linder Cabrera Torres

JAÉN – PERÚ, NOVIEMBRE, 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 26 de 11 del año 2019, siendo las 20:30 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: **Mg. Mario Felix Olivera Aldana**

Secretario: **Mg. Jaime Odar Honorio Acosta**

Vocal: **Dr. Deibi Eric García Campos**, para evaluar la Sustentación de:

() Trabajo de Investigación

() Tesis

() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **“Diseño de un sistema de biodigestores para el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos del camal municipal de Jaén – Perú”**, presentado por los Bachilleres **Denis Collasos Correa** y **Lenín Edinson Vargas Pérez**, de la Carrera Profesional de **Ingeniería Mecánica y Eléctrica** de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

() Aprobar () Desaprobar () Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|---------------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | (<u>13</u>) |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 22:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.



Mg. Mario Felix Olivera Aldana
Presidente



Mg. Jaime Odar Honorio Acosta
Secretario



Dr. Deibi Eric García Campos
Vocal

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Realidad problemática	5
1.3 Justificación	6
1.4 Hipótesis	6
II. OBJETIVOS	7
2.1 Objetivo General.....	7
2.2 Objetivos Específicos	7
III. MATERIAL Y MÉTODOS	8
3.1 Tipo de investigación.....	8
3.2 Población y muestra.....	8
3.3 Materiales.....	8
3.4 Camal municipal Regulo Bernal Torres	9
3.5 Métodos	9
3.6 Criterios para la selección del biodigestor tubular.....	10
3.7 Fundamento para elegir diseñar biodigestores tubulares en paralelo	11
3.8 Determinación de la cantidad de residuos ruminales.....	12
3.9 Determinación de la temperatura y tiempo de retención	12
3.10 Carga de mezcla diaria de alimentación del sistema de biodigestores	13
3.11 Volumen del Biodigestor	14
3.12 Dimensionamiento del tamaño del sistema de biodigestores	15
3.13 Estimación la demanda eléctrica del camal municipal de Jaén.	31
3.14 Determinación de la cantidad de biogás que producirá diariamente el sistema de biodigestores.	31
3.15 Selección de un generador eléctrico que utilice biogás como combustible.....	33
3.16 Balance de la demanda energética y la producción de biogás	34
3.17 Evaluación técnico y económico.	38
IV. RESULTADOS	41

V. DISCUSIÓN	47
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
Conclusiones:.....	49
Recomendaciones:	50
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	51
AGRADECIMIENTO	55
DEDICATORIA	56
ANEXOS	57

Índice de tablas

Tabla 1: Tiempo de Retención Hidráulica en función de la temperatura	13
Tabla 2: Diferentes dimensiones para el digestor según el número de reactores para un L/D = 7	16
Tabla 3: Dimensiones de la zanja según Diámetro.....	17
Tabla 4: Dimensiones de Zanja para digestores de diámetro 1.6 m	18
Tabla 5: Presiones internas máximas de operación de los biodigestores	23
Tabla 6: Diámetros de tubería de acuerdo con el caudal del biogás requerido y longitud del sistema de tuberías.....	26
Tabla 7: Características del biogás y comparación con otros gases	37
Tabla 8: Cantidad promedio de estiércol y contenido ruminal generado por animales bovinos	41
Tabla 9: Promedio de Bovinos sacrificados por día para los meses de enero hasta setiembre.....	41
Tabla 10: Muestras de Peso de Materia orgánica porcina	42
Tabla 11: Promedio diario de animales porcinos sacrificados para los meses de enero hasta setiembre.....	42
Tabla 12: Temperatura media de la ciudad de Jaén – Perú.	43
Tabla 13: Características y Máxima Demanda de Aparatos eléctricos del área Administrativa	43
Tabla 14: Características y máxima demanda de aparatos eléctricos del área de Sacrificio	44
Tabla 17: Características del generador Eléctrico	45
Tabla 16: VAN y TIR.....	46

Índice de figuras

Figura 1: Ubicación camal municipal Regulo Bernal Torres	9
Figura 2: Nivel de la tubería de entrada y salida del biodigestor	20
Figura 3: Mecanismo para mantener la presión constante del biogás	24
Figura 4: Válvula de Seguridad	29
Figura 5: Trampa de agua condensada	30
Figura 6: Estructura interna de supresores de llamas	30

RESUMEN

En el camal municipal de la ciudad de Jaén se sacrifican animales vacunos y porcinos (ovinos y otros con poca frecuencia), en el cual se generan residuos orgánicos (excremento principalmente) que son vertidos en efluentes cercanos. En este trabajo de investigación, se propone el diseño de un sistema de biodigestores para el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos. Para ello se determinó la cantidad de materia orgánica que se genera en el camal municipal diariamente, obteniéndose un estimado de 646.5 kg de materia orgánica por día. Se dimensionó un sistema de 3 reactores del tipo tubular para su funcionamiento en paralelo. Se determinó sus dimensiones y accesorios básicos para su funcionamiento y se estimó una producción de 18.91 m³ de biogás al día. Asimismo, se calculó una máxima demanda eléctrica del camal municipal que es de 2.7 kW de potencia, para la cual se seleccionó un generador eléctrico de 5 kW de potencia para cubrir la demanda del local. La evaluación económica muestra un TIR de 47%, el VAN de S/. 244674.3, y un TDR de 3 años. Los datos muestran que la implementación de este tipo de proyecto es viable.

PALABRAS CLAVE: Residuos orgánicos, Sistema de biodigestores, Biogás, Biofertilizante.

ABSTRACT

In the municipal slaughterhouse of the city of Jaén, cows and pigs are slaughtered (sheep and others not frequently), in which organic waste is generated (mainly excrement) that is discharged into nearby effluents. In this research work, the design of a biodigester system for the energy use of organic waste is proposed. For this, the amount of organic matter that is generated in the municipal slaughterhouse was determined daily, obtaining an estimated 646.5 kg of organic matter per day. A system of 3 reactors of the tubular type was sized for parallel operation. Its dimensions and basic accessories for its operation were determined and a production of 18.91 m³ of biogas per day was estimated. Likewise, a maximum electrical demand of the municipal pipeline was calculated, which is 2.7 kW of power, for which an electric generator of 5 kW of power was selected to meet the demand of the premises. The economic evaluation shows an IRR of 47%, the NPV of S /. 244674.3, and a 3-year TDR. The data shows that the implementation of this type of project is viable.

KEY WORDS: Organic waste, Biodigester system, Biogas, Biofertilizer.

I. INTRODUCCIÓN

Las energías renovables representan ya un tercio de la capacidad energética mundial. En el 2018 la capacidad total de generación de energía renovable alcanzó los 2.351 GW. La energía hidroeléctrica representa la mayor parte, aproximadamente la mitad del total, la energía eólica y la solar representan la mayor parte del restante, y otras energías renovables incluyen la bioenergía, energía geotérmica y la energía marina (mareomotriz, undimotriz y oceánica). La bioenergía representó aproximadamente el 10% del consumo total final de energía y el 1,4% de la generación mundial de energía en 2015. (IRENA, 2019)

En el Perú, en el año 2018, la tendencia de capacidad de energía instalada para el biogás fue de 12.6 MW, y para la biomasa sólida fue de 173.3 MW. La biomasa tiene un potencial significativo y puede quemarse directamente para calefacción o generación de energía, o puede convertirse en sustitutos de petróleo o gas. Los biocombustibles líquidos, un conveniente sustituto renovable de la gasolina, se utilizan principalmente en el sector del transporte. (IRENA, 2019)

Las energías renovables, como la energía de biomasa, son una fuente de energía limpia e imprescindible para combatir el cambio climático y mitigar sus efectos más devastadores los cuales se han podido apreciar en los últimos acontecimientos en diferentes lugares de nuestro País y del mundo entero.

El biogás, como fuente de energía renovable, ha despertado un gran interés en los últimos años, siendo tal vez una de las tecnologías de más fácil implementación, sobre todo en sectores rurales. Su potencial desarrollo, no solo considerando la producción de biogás, sino que como ayuda a la obtención de biofertilizante y tratamiento de problemas sanitarios en algunos casos. (Varnero, 2011)

En la actualidad en la ciudad de Jaén cuenta con su propio camal municipal en donde se lleva a cabo el sacrificio de animales, y como resultado se obtiene las carnes para el consumo humano y los desechos orgánicos (excremento y contenido ruminal) que son una fuente de

contaminación para nuestras vertientes. En este proyecto de investigación se propone una alternativa de solución para el aprovechamiento de estos residuos orgánicos, en donde se estimó la cantidad de excretas que se generan diariamente, que podrán servir como materia prima para un sistema de aprovechamiento energético.

En este informe se diseñó un sistema de biodigestores para aprovechar los restos de materia orgánica y transformarlos en una fuente de producción de biogás y biofertilizante. Además, se podrá mitigar la contaminación que estos desechos producen hacia el medio ambiente.

En este trabajo de investigación se muestran el importante valor energético y económico que pueden generar estos residuos orgánicos además generar trabajo y disminuyendo su problemática existente con el que se enfrentan los trabajadores del camal municipal.

1.1 Antecedentes

Nivel Internacional

Mago, Sosa, Flores, & Tovar (2014), en su investigación “Propuesta de diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor©”, se planteó el diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela, lo cual representa en la actualidad una valiosa alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos agropecuarios, y generación de biogas. Su metodología se basó, en un análisis detallado de los desechos agropecuarios; estudiando las características que definen la biomasa y la cantidad de biogás producido a partir de tales desechos. Se hizo la determinación de los parámetros y/o criterios a considerar para la selección de las diferentes estructuras que conforman la planta de generación de biogás mediante el uso del software profesional BioDigestor©.

Mantilla, Duque, & Galeano (2007), en su artículo “Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno” muestran las consideraciones tomadas en cuenta y los resultados del diseño de una planta productora de biogás a gran escala, a partir de residuos orgánicos de ganado vacuno, con el objetivo de observar la factibilidad técnica y económica para la implementación de este tipo de sistemas de manejo de residuos

orgánicos en el país. Los autores concluyen que es factible técnica y económicamente la construcción de una planta de manejo de residuos sólidos orgánicos, de ganado vacuno, en los campos de Colombia.

Según Erreyes & Pérez (2015) en su tesis “Implementación de un Biodigestor para Producir Biogás a Partir de los Residuos Orgánicos Generados en el Centro de Faneamiento Municipal Tena, Napo.” Cuyo objetivo principal fue Implementar un biodigestor para producción de biogás a partir de los residuos orgánicos generados en el centro de Faneamiento municipal Tena, Napo. En esta investigación se implementó un biodigestor de domo flotante como una de las medidas influyentes en el entorno agrícola y ambiental, con la finalidad de producir biogás a partir de los residuos orgánicos generados por 15 cabezas de ganado, en el cual el biodigestor tuvo una efectividad de 87 por ciento la cual satisface a la empresa con la producción de biogás para el proceso de chamuscado.

De la tesis anterior, se llegó a concluir que, de un kilogramo de estiércol se genera 0.013 m³ de biogás a presión atmosférica en las siguientes condiciones: relación de la mezcla 1:1, rango de temperatura de 25 a 35 °C y un tiempo de retención de 30 días.

Nivel Nacional

Barrena, Julca, Hellenthal, & Ordinola (2015), en su investigación “Rendimiento del biogás como combustible para cocina e iluminación producido en biodigestor tubular en la Providencia, Luya – Amazonas” cuyo objetivo principal fue determinar el rendimiento de biogás como combustible para cocina e iluminación producido en un digestor tubular, en Cruz Lomas, distrito de Providencia, provincia de Luya, Departamento de Amazonas – Perú. Se empleó un biodigestor de geomembrana de PVC de 0,5 mm de espesor, 1,27 m de diámetro y 6,70 m de largo, con un volumen de trabajo de 6,37 m³ que contiene la mezcla estiércol - agua en una proporción de 1:5; el tiempo de retención hidráulica fue de 20 días. El biogás producido se almacenó en la cúpula del biodigestor (2,12 m³) y en el gasómetro (2,53 m³), y fue suficiente para que funcione una cocina a biogás, durante un periodo de 5 horas y 30 minutos por día, quedando aún biogás en el gasómetro. Con el mismo volumen y presión de biogás, se pudo hacer funcionar

una lámpara de camiseta durante 5 horas y 22 minutos por día para iluminar un ambiente de la vivienda rural. Los autores concluyeron que la temperatura ambiente que influye en la producción de Rendimiento biogás producido biodigestor biogás. A mayor temperatura ambiente, menor tiempo para producir biogás.

Taramona, Barrena, Gamarra, Choy, & Rodríguez (2017), en su investigación “Rendimiento de biogás y sus beneficios socio económico en el desarrollo rural sostenible de las comunidades alto-andinas, Áncash – Perú” se emplearon biodigestores tubulares de geomembrana de PVC, de 8 y 12 m³ de volumen total (1,27 m de diámetro y 6,7 a 10 m de longitud), con 6 y 9 m³ de volumen de trabajo, respectivamente, ocupado por la mezcla estiércol de ganado vacuno: agua en la proporción 1:5. Se instaló biodigestores en las comunidades andinas. El biogás producido alcanzó una presión de 10 cm de agua en 42 días, siendo el volumen de biogás producido de 5 m³. La temperatura ambiente promedio en las zonas altoandinas es de 15 °C lo que afecta en la producción de biogás.

Barrena, Olivares, Taramona, & Chauca (2017), en su artículo “Influencia de la temperatura ambiente sobre la producción de biogás” se determinó la influencia de la temperatura ambiente sobre la producción de biogás. Esta relación es necesaria para establecer, en función de la temperatura ambiente de cada localidad, en que tiempo un biodigestor recién instalado y cargado estará lleno de biogás. Para ello se emplearon biodigestores tubulares de geomembrana de PVC, de 8 y 12 m³ de volumen total (1,27 m de diámetro y 6,7 a 10 m de longitud), con 6 y 9 m³ de volumen de trabajo, respectivamente, ocupado por la mezcla estiércol de ganado vacuno: agua en la proporción 1:5. Se instaló biodigestores en siete localidades de las regiones Amazonas, San Martín y La Libertad – Perú; de distinta temperatura ambiente y altura sobre el nivel del mar. En cada localidad se determinó el tiempo de retención hidráulico (TRH), en días, necesario para que la campana del biodigestor y el balón adicional de almacenamiento estén llenos de biogás. En base a los resultados obtenidos, la altura sobre el nivel del mar y el volumen del biodigestor no influyen sobre el TRH; únicamente la temperatura ambiente (T) influye directamente sobre el

TRH, cuya relación se representa con la ecuación: $TRH = -44,705 \ln(T) + 160,394$.

Según Oblitas (2018) en tu tesis “Estudio Técnico-Económico para producir biogás a partir de los residuos generados por el Camal Municipal de Tumán 2017”, en esta investigación, su objetivo principal fue elaborar un estudio Técnico – Económico para la producción de Biogás a partir de los residuos generados por el camal Municipal de Tumán. Se determinó que con un resultado de 10.158 kg mensuales de estiércol y rumen en su biodigestor de geomembrana de 150m³, lograrán tener una gran importancia en el camal ya que con ello lograrán disminuir la contaminación, aprovechar los residuos y lograr una imagen institucional que opta utilizar tecnologías limpias.

De la tesis anterior, se puede afirmar que la obtención de biogás a partir de residuos generados en un camal es viable desde el punto de vista ambiental, social y económico.

Según Torres & Mendoza (2015), en su tesis “Propuesta de un sistema de aprovechamiento de estiércol y sangre del camal municipal del distrito de Jazán, provincia de Bongará, departamento Amazonas, Perú”, cuyo objetivo de estudio fue Promover un sistema de tratamiento de estiércol y sangre producidos en el camal municipal del distrito de Jazán, provincia Bongará, región Amazonas, Perú.

De sus conclusiones de la investigación anterior, se afirma que de 115 kg/día de estiércol se producen 6.04 m³ de biogás/día, con una relación de mezcla de estiércol de 1:5 partes de agua y una retención hidráulica de 25 días.

1.2 Realidad problemática

En el Camal Municipal de Jaén se sacrifican animales (bovinos, porcinos y otros) para abastecer de este alimento a la población de Jaén, por lo que, en su proceso se eliminan grandes cantidades de desechos orgánicos que son vertidos en un efluente generando contaminación del agua y aire. Por otra parte, los trabajadores encargados de lavar las vísceras de los animales sacrificados, tienen la necesidad de calentar agua para realizar su trabajo de lavado, en lo cual utilizan la madera (leña) como fuente de energía,

generando contaminación por el humo producido por la quema de esta, y perjudicando la salud de los trabajadores al inhalar el humo.

Formulación del problema

¿Cómo influye el diseño de un sistema de biodigestores en la mitigación de la contaminación ambiental producida por los desechos orgánicos generados por los animales sacrificados en el camal, y en la satisfacción de la demanda eléctrica de dicho local, buscando una mejora social, salubre y económica?

1.3 Justificación

El motivo por el cual se va a realizar esta investigación es ofrecer una alternativa para aprovechar los residuos orgánicos generados en el camal para generar biogás y biofertilizante, y de esta manera mitigar los problemas de contaminación y la necesidad de utilizar leña para calentar agua (utilizada para lavar las vísceras de los animales sacrificados), y puesto que los resultados de esta, podrán servir para la implementación de un biodigestor en dicho lugar, beneficiando a los trabajadores del mismo centro de faenamiento.

El biogás también será posible usarlo para generar energía eléctrica a través de un motor térmico, que cubriría la demanda energética del camal municipal, generando un impacto positivo en el aspecto económico, al no generar cargos por facturación eléctrica.

Por otro lado, el biofertilizante, un subproducto obtenido de la biodigestión, será posible aprovecharlo como un biofertilizante para los jardines y áreas verdes de la ciudad de Jaén, y el excedente se venderá para generar ingresos para el camal municipal.

1.4 Hipótesis

Con el diseño de un sistema de biodigestores se aprovechará los residuos orgánicos para la generación de biogás que le permitirá satisfacer la demanda energética del camal municipal de Jaén.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Diseñar un sistema de biodigestores para el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos de camal municipal de Jaén para generar biogás y satisfacer con la demanda energética del camal.

2.2 Objetivos Específicos

- Estimar la cantidad de materia orgánica (contenido ruminal, estiércol) que se genera diariamente en el camal municipal de Jaén.
- Estimar la producción de biogás que produciría diariamente los biodigestores.
- Dimensionar los biodigestores para la obtención de biogás y biofertilizante.
- Calcular la máxima demanda eléctrica del camal municipal de Jaén y seleccionar un generador eléctrico a biogás para satisfacer su demanda eléctrica.
- Seleccionar el tipo de biodigestor a diseñar.
- Realizar la evaluación técnica y económica del proyecto.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Tipo de investigación

Por la naturaleza de los objetivos y la metodología empleada, la presente investigación es de tipo cuantitativa y aplicada (Rojas, 1999).

3.2 Población y muestra

a. Población y Muestra

El camal municipal de la ciudad de Jaén

3.3 Materiales

MATERIALES	EQUIPOS
<ul style="list-style-type: none">• 01 Balde graduado de 18 litros• 02 Balde graduado de 5 litros• 02 jarras de 2 litros• 02 Palanas• 50 Bolsas para basura• 20 Mascarillas• 50 Guantes• 10 Sacos blancos• 02 pares de botas	<ul style="list-style-type: none">• 01 Balanza electrónica de 50 Kg• 01 Cámara fotográfica digital
	SOFTWARES
	<ul style="list-style-type: none">• AutoCAD 2016

3.4 Camal municipal Regulo Bernal Torres

El presente proyecto de investigación se desarrolló en el camal municipal de Jaén, ubicado en el Sector Linderos sin número, de la ciudad de Jaén y del departamento de Cajamarca. Está ubicado a una altitud de 729 m.s.n.m. En este camal se sacrifican animales bovinos y porcinos para abastecer con carnes a los habitantes de la ciudad. Siendo además el único camal de la ciudad de Jaén.

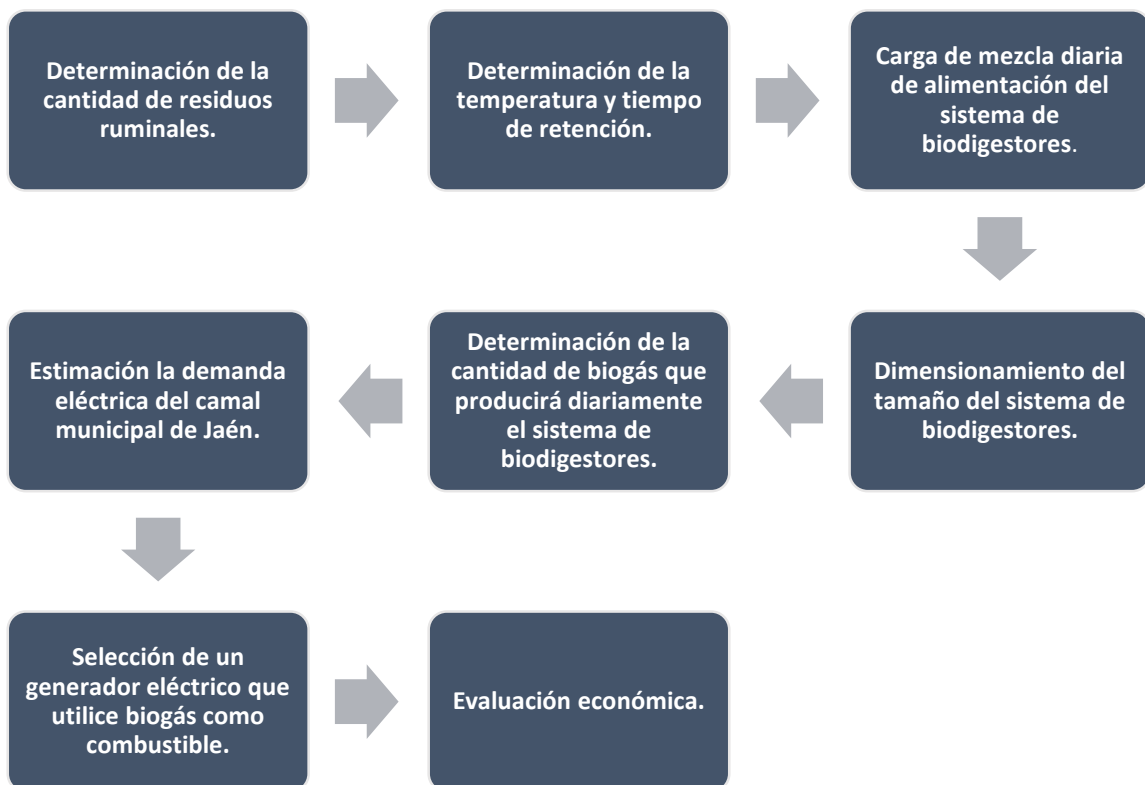


Figura 1: Ubicación camal municipal Regulo Bernal Torres

Fuente: Google Maps

3.5 Métodos

La metodología para el diseño del sistema de biodigestores para el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos fue dada por el siguiente orden:



Fuente: Elaboración propia

3.6 Criterios para la selección del biodigestor tubular

Se define al digestor tubular esencialmente como un cilindro largo, con alimentación continua y en el cual el residuo se mueve un flujo de tipo pistón: los residuos entran por un lado y por el otro lado sale una misma cantidad de lodo digerido (Poggio, 2007, pág. 37).

Se seleccionó el biodigestor tubular debido a que presenta ciertas ventajas con respecto a otros modelos, y se adecua a las condiciones de trabajo del camal Municipal de Jaén. A continuación, se mencionan los criterios que justifican la elección del biodigestor tubular:

- La materia prima (materia orgánica) para alimentar al biodigestor está disponible diariamente, por lo que es conveniente contar con un digestor de tipo continuo como es el caso del biodigestor tubular (Poggio, 2007).
- En un biodigestor tubular, debido al movimiento en flujo pistón, el sustrato pasa a través de una zona de máxima digestión en su trayectoria desde la

entrada hasta la salida, sin que alguna porción de la mezcla experimente diferencias significativas en su tiempo de retención con respecto a otras. De esta manera evita que una parte de dicha mezcla salga antes del tiempo previsto para su digestión. (Poggio, 2007 y Arnott, 1985)

- Los biodigestores tubulares contruidos a partir de mangas de polietileno se caracterizan por su bajo costo, fácil instalación y mantenimiento (Martí 2008).
- Biodigestores cuadrados y circulares producen menos biogás y fertilizante con menor salubridad que los digestores largos (biodigestores tubulares) (Arnott, 1985).
- El sustrato (mezcla) cuando esta sin movimiento en el interior del biodigestor, esta forma una capa superficial de residuos fibrosos, que flotan por encima del líquido subyacente. Con el pasar del tiempo el espesor de esta capa va aumentando y tomando solidez, constituyendo un obstáculo para la liberación del biogás. Los digestores horizontales (tubular) al tener una superficie más grande en relación con el volumen de líquido contenido, por lo que, el espesor de la capa será entonces menor respecto a un digestor vertical. (Poggio, 2007 y Arnott, 1985)

3.7 Fundamento para elegir diseñar biodigestores tubulares en paralelo

No es conveniente diseñar digestores tubulares de gran capacidad volumétrica, ya que la eficiencia de estos va disminuyendo mientras aumenta su capacidad (m^3), por lo se recomienda fraccionar el reactor, de tal manera que este sea más eficiente y más fácil de realizar el mantenimiento, además, la producción de biogás no se verá afectada cuando se realice el mantenimiento de uno de los digestores, ya que los restantes seguirán produciendo biogás.

Además, se decidió fraccionar el biodigestor en 3 partes para su funcionamiento en paralelo, para adecuarse al espacio disponible con la que cuenta el camal municipal de Jaén.

3.8 Determinación de la cantidad de residuos ruminales

Para determinar la cantidad de materia orgánica por día, se tuvo en cuenta los valores proporcionados por Quiroga y Pabón (2008), y también se realizaron muestras de campo para obtener resultados más precisos y que se adecuen a la realidad local. Durante la toma de muestras se midió el excremento y contenido ruminal de animales vacunos de manera aleatoriamente, este proceso se desarrolló tantas veces como fue posible para cada especie (bovino, porcino), y con ello se determinó el porcentaje de estiércol que se obtiene en relación con su peso en carcasa del animal.

De las muestras tomadas en campo, y de la información recolectada del personal que labora en dicho camal se llegó a la conclusión que, la mayoría de los animales bovinos sacrificados son de tamaño mediano (230 kg de peso en carcasa), por lo que para fines de cálculo se tomó datos promedios. La cantidad de estiércol y contenido ruminal promedio es de 20.7 kg por animal bovino.

3.9 Determinación de la temperatura y tiempo de retención

Los procesos anaeróbicos son dependientes del factor temperatura. La rapidez con la que se realiza los procesos biológicos está en función a la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados en la biodigestión que, a su vez, dependen de la temperatura (Varnero, 2011).

Para determinar los parámetros de temperatura y tiempo de retención se contó con una data de temperaturas (data brindada por la Coordinación de Ingeniería Mecánica y eléctrica de la UNJ) de la cual se determinó la temperatura promedio de la ciudad de Jaén.

El tiempo de retención es la duración del proceso de digestión anaeróbica, es el tiempo que requieren las bacterias para digerir el lodo y producir biogás. Este tiempo, por tanto, dependerá de la temperatura de la región donde se vaya a instalar el biodigestor. Así, a menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención que será necesario para que las bacterias, que tendrán menor actividad, tengan tiempo de digerir el lodo y de producir biogás. (Martí, 2008, pág. 17)

Tabla 1: Tiempo de Retención Hidráulica en función de la temperatura

Temperatura de Funcionamiento °C	Tiempo de retención Hidráulico (días)	Tiempo de Retención Recomendado (días)
18	11	28
24	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

Fuente: Basado en Pérez (2010)

En esta tabla se muestra diferentes valores de TRH en función a su temperatura. Se observa que el tiempo de retención hidráulica es inversamente proporcional a la temperatura, es decir, cuando la temperatura aumenta, el tiempo de retención disminuye. Por lo cual vamos a considerar un TRH = 20 días.

3.10 Carga de mezcla diaria de alimentación del sistema de biodigestores

Según Cotrina y Villanueva (2013) recomienda alimentar todos los días al biodigestor con una mezcla de 1 kg de estiércol fresco con 1 litro de agua, o su equivalente de 1 litro de estiércol con 3 litros de agua.

Martí (2008), afirma que se debe alimentar el biodigestor diariamente con una carga de estiércol mezclada 1:4 con agua, es decir, una parte es de estiércol y cuatro de agua; esto es para el caso de biodigestores tubulares. También afirma que para el caso de estiércol de ganado bovino una mezcla de 1:3 con agua es suficiente.

Varnero (2011) menciona que la cantidad de agua a añadir para formar la mezcla debe ser calculada con la ecuación 1:

$$\%S.T. (carga\ diluida) = \frac{1\ kg\ de\ excreta * \%S.T.(excreta\ fresca)}{1\ kg\ excreta\ fresca + W(agua\ agregada)} \quad (1)$$

Donde:

- %S.T. (carga diluida): porcentaje de Sólidos totales de la mezcla.
- %S.T. (excreta fresca): porcentaje de sólidos totales de la materia orgánica.
- W (agua agregada): Volumen de agua agregada a la mezcla.

El valor promedio para S.T. (carga diluida) es de 0.05 en digestores (horizontales) según Varnero (2011). El valor promedio S.T. (excreta fresca) para el caso de ganado vacuno es de 0.2 según Varnero y Arellano (1991).

Reemplazando valores:

$$0.05 = \frac{1 * 0.2}{1 + W(\text{agua agregada})}$$

$$W(\text{agua agregada}) = \frac{0.15}{0.05}$$

$$W(\text{agua agregada}) = 3 \frac{\text{litros de agua}}{\text{kg de excreta fresca}}$$

Los cálculos validan lo dicho por Cotrina y Villanueva (2013) y Martí (2008). En esta investigación se considera una mezcla de materia orgánica de 1:3 con agua (o agua residual). Debido a que la producción de excremento porcino en el camal es mínima en comparación a los desechos bovinos, se considera la misma proporción de agua para la mezcla de los residuos orgánicos porcinos.

La cantidad estimada de materia orgánica que se genera en el camal municipal de Jaén se calculó (asumiendo la densidad de la materia orgánica igual a 1kg/L, según Martí (2008)) mediante la siguiente ecuación 2.

$$\text{Mezcla diaria} = 646.5 \text{ litros} * 4 = 2586 \text{ litros/día} \approx 2.6 \text{ m}^3 / \text{día} \quad (2)$$

3.11 Volumen del Biodigestor

El volumen del biodigestor está en función de la cantidad del tiempo de retención de la mezcla diaria. El volumen total del biodigestor está dado por el volumen líquido (mezcla) y el volumen gaseoso (biogás).

3.11.1 Volumen líquido del Biodigestor

El volumen líquido del biodigestor (VLB) se considera un 75 % del volumen total del biodigestor. Se calcula con la siguiente ecuación 3:

$$VLB = \text{Mezcla diaria} * THR \quad (3)$$

Reemplazando valores:

$$VLB = 2.6 \text{ m}^3 / \text{día} * 20 \text{ días}$$

$$VLB = 52 \text{ m}^3$$

3.11.2 Volumen Gaseoso del biodigestor

El volumen gaseoso del Biodigestor (VGB) representa el 25% del volumen total del biodigestor. Se calcula con la ecuación 4:

$$VGB = VLB * TRH * \frac{0.25}{0.75} \quad (4)$$

Reemplazando en la ecuación:

$$VGB = 2.6 \text{ m}^3 * 20 \text{ días} * \frac{0.25}{0.75}$$

$$VGB = 17.33 \text{ m}^3$$

3.11.3 Volumen Total del Biodigestor

El volumen total del biodigestor (VTB) es:

$$VTB = VLB + VGB \quad (5)$$

Reemplazando:

$$VTB = 52 + 17.33$$

$$VTB = 69.33 \text{ m}^3$$

3.12 Dimensionamiento del tamaño del sistema de biodigestores

El tamaño del biodigestor se calcula en función a la cantidad de residuos orgánicos aptos para la biodigestión que se obtenga diariamente de los animales sacrificados. A continuación, se muestra el procedimiento para el dimensionamiento del biodigestor:

Cantidad de estiércol (litros/ día): E

Volumen de mezcla estiércol - agua (litros/día): R

Tiempo de retención hidráulico (días): T

Volumen de trabajo del biodigestor: $VMT = R * E * T$

Volumen total del biodigestor: $VT = VMT / 0,75$

Volumen de la campana del biogás: $VG = 0,25 VT$

Para el cálculo del diámetro y longitud, para un biodigestor tubular de geomembrana de PVC, se calcula según la siguiente ecuación 6:

$$V_T = \frac{\pi * D^2}{4} * L \quad (6)$$

Donde:

D: Diámetro del biodigestor tubular

L: Longitud del biodigestor tubular

Según (Martí, 2008) afirma que la relación que debe existir entre longitud y diámetro del biodigestor debe oscilar entre:

$$\frac{L}{D} = [5 - 10]$$

Siendo su valor óptimo “7”.

Tabla 2: Diferentes dimensiones para el digestor según el número de reactores para un $L/D = 7$.

N° de Reactores	Diámetro (m)	Largo (m)
1	2.2	18.2
2	1.8	13.6
3	1.6	11.5

Fuente: Elaboración propia

En este trabajo de investigación se consideró necesario diseñar 3 reactores en paralelo por lo siguiente:

- Un solo reactor del tipo tubular no es tan eficiente para manejar grandes cantidades de sustrato según menciona.
- La producción de biogás no se verá bruscamente afectada cuando se realice el mantenimiento a los digestores, ya que el(los) restante(s) seguirán generando.

- Dimensionar un solo digestor implica mayor longitud, por lo cual se necesita mayor espacio longitudinal. Dado que el espacio es un factor limitante en el camal municipal de Jaén, se diseñó de reactores en paralelo.

Las dimensiones de los 3 digestores diseñados son:

Diámetro = 1.6 m

Longitud = 11.5 m

3.12.1 Zanja del biodigestor

Se debe tener en cuenta (al momento de la construcción) que las paredes de la zanja donde iría cada biodigestor semienterrado soportarán toda la presión que ejerza la mezcla en el reactor.

Las medidas de las zanjas están sujetas a las dimensiones de los digestores y deben aproximarse en lo posible a la forma cilíndrica del digestor. Al aumentar el ancho de la zanja, hace falta aumentar también el diámetro de la alimentación, para asegurarse que efectivamente haya un movimiento flujo de pistón de todo el lodo, y no solo de la parte central (Poggio, 2007), por lo que se debe elegir una relación optima de diseño.

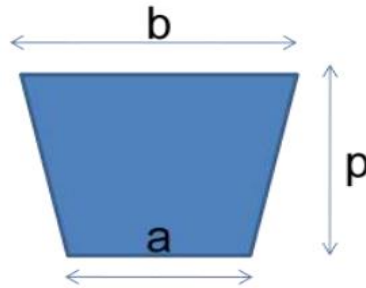
Martí (2008), propone una zanja de forma de un trapecio (vista lateral) para biodigestores tubulares. En la tabla N° 14 se muestran algunos diámetros para la zanja de reactores propuestos por este autor.

Tabla 3: Dimensiones de la zanja según Diámetro

Dimensiones de Zanja según Diámetro					
Diámetro Digestores	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64
a (m)	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
b (m)	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
p (m)	0.6	0.7	0.8	0.9	1

Fuente: Adaptado de Martí (2008)

Donde:



Tomando como base lo expresado en la tabla N° 03, se puede aproximar las dimensiones de la zanja para los digestores de 1.6 m de diámetro.

Tabla 4: Dimensiones de Zanja para digestores de diámetro 1.6 m

Diámetro digestores (m)	1.6
a (m)	1.95
b (m)	2.15
p (m)	2.25

Fuente: Elaboración propia

La zanja para el digestor deberá tener un poco de inclinación, iniciando en la entrada (ingreso de la mezcla orgánica) hacia la salida del lodo digerido Arnott (1985). El grado de inclinación no deberá estar entre 2 ó 3 grados, ya que, si es menor, la materia orgánica no se moverá con suficiente rapidez, ocasionando estancamiento; por otro lado, si la inclinación es mayor a la sugerida, la mezcla se moverá muy rápido y dejará el digestor antes del tiempo (TRH) (Arnott, 1985). Para este diseño se consideró un ángulo de inclinación de 3 grados.

3.12.2 Cámara y tuberías de carga y descarga de los digestores

Cámara de carga o pozo de entrada

La cámara de carga y descarga deberán ser capaces de albergar un volumen mayor que el volumen de carga diaria ($2.6 \text{ m}^3/\text{día}$) para evitar derrames.

El volumen del pozo de entrada está en función del volumen de carga diaria que necesita el biodigestor, y es recomendable construirla de concreto (Cotrina y Villanueva, 2013), además, su base debe ubicarse por encima del nivel líquido albergado en los biodigestores (PESENCA, 1992), para permitir el ingreso de la

mezcla. Además, deberá estar provisto de un sistema de alimentación de agua para realizar las diluciones del material y algún mecanismo o instrumento de agitación para homogeneizar la carga (Hilbert, 2011).

La mezcla para la alimentación de los digestores deberá estar correctamente diluido para facilitar su ingreso por la tubería de entrada de PVC, y para que ésta no deba ser de más de 4 pulgadas de diámetro (García, Alamo, y Marcelo, 2017).

Para este diseño, se consideró un volumen de la cámara de carga de un 15% mayor al volumen de la mezcla diaria, y una la tubería será de 4 pulgadas de diámetro de PVC.

$$\text{Vol. Cámara de Carga} = 2.6 \text{ m}^3 * 1.15 \quad (7)$$

$$\text{Vol. Cámara de Carga} = 2.99 \text{ m}^3 \cong 3 \text{ m}^3$$

El Volumen de la cámara de carga es de 3 m^3 .

Cámara de descarga

El volumen y diseño de la cámara de descarga dependerá fundamentalmente del uso que se le dará al efluente (frecuencia con la que se utilizará el biol como fertilizante); y como mínimo deberá tener un volumen 2 a 3 veces superior al de descarga diario (Hilbert, 2011).

La tubería de salida del lodo digerido deberá ubicarse de tal manera que la boca externa del tubo no supere el nivel del lodo albergado en los digestores (Martí, 2008); por lo que el nivel máximo del poso de descarga deberá estar al nivel del lodo de los reactores. La tubería de descarga o de salida debe tener el mismo diámetro que la de carga o de entrada (García, Alamo, y Marcelo, 2017), pero ya que el lodo esta sedimentado y facilitar la salida de la misma, en este diseño se propone la utilización de una tubería de 6 pulgadas de diámetro.

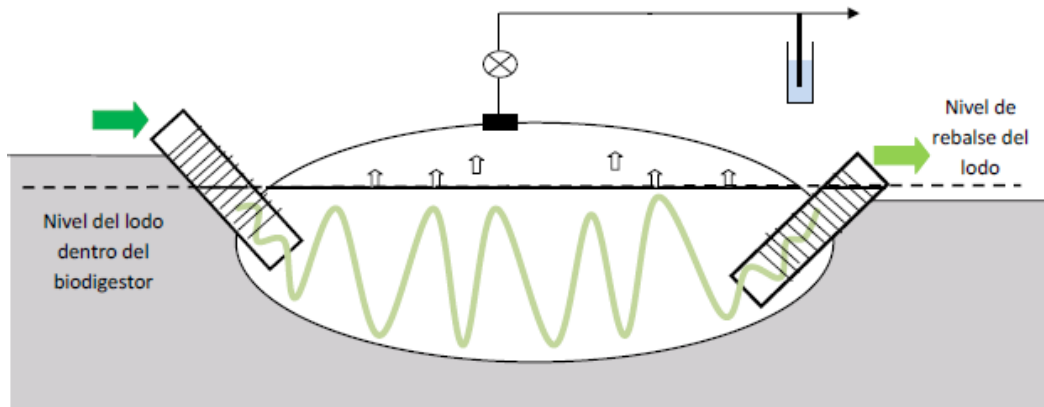


Figura 2: Nivel de la tubería de entrada y salida del biodigestor

Fuente: Martí (2008)

Para este diseño se consideró un volumen de la cámara de descarga de 2 veces el volumen de la cámara de entrada.

$$\text{Vol. Cámara de descarga} = 2 * \text{Vol. Cámara de Carga} \quad (8)$$

$$\text{Vol. Cámara de descarga} = 2 * 3 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Cámara de descarga} = 6 \text{ m}^3$$

El volumen de la cámara de carga propuesto fue de 6 m³ y una tubería de salida de 6 pulgadas de diámetro. Las cámaras de carga y descarga de los digestores deberán ser de ladrillo y concreto.

3.12.3 Material para construcción de los Reactores

La construcción de un biodigestor de un material rígido como el concreto, no es muy conveniente, ya que nos encontramos en una zona sísmica y se agrietaría en caso se diera. Los materiales como el acero están sujetas a la corrosión, por lo que se tiene que estar manteniendo regularmente (pintado); y además de su costo elevado.

Los biodigestores tubulares se construyen generalmente de plástico, por su bajo costo, bajo peso para el transporte y facilidad de instalación. El biodigestor puede ser de polietileno o geomembrana de PVC; pero debido a la poca durabilidad del polietileno, actualmente se están fabricando estos biodigestores con geomembrana de PVC, pero más costoso (García, Alamo, y Marcelo, 2017).

3.12.4 Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor

Existen varias alternativas para seleccionar las dimensiones del reactor (diámetro y largo), pero se puede reducir la eficiencia si no se da las dimensiones adecuadas, por lo que es recomendable utilizar una relación óptima entre la longitud y el diámetro del biodigestor.

No es conveniente construir biodigestores demasiado cortos (con mayor diámetro), ni largos (con menor diámetro), y para ello existe una relación óptima entre el diámetro y la longitud que es 7 (Martí, 2008). Para diámetros muy pequeños con respecto a su longitud no permite una suficiente mezcla del influente con las bacterias metanogénicas contenidas en el digestor ocasionando que se ralentice el proceso; por otra parte, un diámetro muy ancho no tendrá un flujo pistón, además, un poco de la mezcla orgánica saldrá antes del tiempo requerido para digerirse (TRH) expresan Poggio (2007) y Arnott (1985). Para ello se usará una relación L/D (longitud/diámetro) adecuada para garantizar una importante eficiencia.

Según Martí (2008) afirma que una relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor este comprendido ente 5 y 10, con un valor óptimo de 7. Para Thu Hang, Lam, y Preston (2016) reportan haber obtenido una productividad del 50% superior con una relación L/D de 7.8 respecto a 3.1.

Se consideró una relación L/D de 7, justificándose en la literatura revisada.

3.12.5 Gasómetro

La producción de biogás de un biodigestor es continua a lo largo de las 24 horas del día; no ocurre lo mismo con el consumo que por lo general está concentrado en una fracción corta de tiempo. Por este motivo será necesario almacenar el gas producido durante las horas en que no se consuma (Hilbert, 2011, pág. 33).

El mismo digestor puede funcionar como acumulador de biogás, pero no es una buena solución: el funcionamiento de los quemadores requiere una cierta presión del flujo de biogás, y no siempre la presión al interior del reactor puede ser suficiente, sobre todo cuando está instalado lejos del consumo. Por estas razones generalmente se instala un tanque suplementario más cerca de la demanda de biogás, dotado de algún sistema que permita mantener constante la presión de

suministro del biogás al punto final (quemador, motor de combustión interna); además, una presión constante permite optimizar el funcionamiento de los aparados alimentados a biogás, donde la presión depende del contenido de biogás acumulado en el digestor (Poggio, 2007, pág. 51).

Para dimensionar el gasómetro se va a tener en cuenta las condiciones de trabajo del camal municipal de Jaén, el cual está en funcionamiento 6 días a la semana. Un dato para tener en cuenta son los días festivos, en la cual no se realizan labor alguna, y esto influenciará en la capacidad volumétrica del reservorio de biogás.

Según Hilbert (2011), afirma que por lo general el volumen del reservorio de biogás no es menor al 50% de la producción diaria de biogás. Teniendo en cuenta que los días domingos no habrá consumo de biogás, se tomará el volumen de 1 día de producción de biogás para el dimensionamiento del gasómetro. El volumen del gasómetro será de 19 m³.

3.12.6 Presión de operación del biodigestor

Se trata de un recipiente cilíndrico de radio interior “r” y espesor de pared “t”, el que contiene el fluido a una determinada presión; por lo tanto, no existen esfuerzos cortantes, sino sólo esfuerzos normales: tangencial (σ_1) y longitudinal (σ_2), los cuales se pueden relacionar mediante la siguiente ecuación (García, Alamo, y Marcelo, 2017):

$$\sigma_1 = 2\sigma_2 = \frac{p*r}{t} \quad (9)$$

Donde:

p: presión manométrica del fluido.

Ahora es posible determinar la presión interna máxima del biogás que podría soportar el biodigestor tubular construido con geomembranas de distinto espesor, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5: Presiones internas máximas de operación de los biodigestores

Tipo de geomembrana	Espesor (t) [m]	Presión interna máxima $p = \frac{\sigma_1 \cdot t}{r} [kPa]$
HDPE Resistencia a la fluencia: $\sigma_1 = 12Mpa$	0.75×10^{-3}	12.9
	1.0×10^{-3}	17.1
	1.25×10^{-3}	21.4
	1.5×10^{-3}	25.7
PVC Resistencia a la fluencia: $\sigma_1 = 15Mpa$	0.5×10^{-3}	10.9
	0.75×10^{-3}	16.1
	1.0×10^{-3}	21.4
	1.25×10^{-3}	26.8
	1.5×10^{-3}	32.1

Fuente: Arrieta

Se puede afirmar que las geomembranas de HDPE y de PVC pueden soportar presiones mayores a 1 m de columna de agua que equivale a 10 kPa.

Si bien la Geomembrana de PVC resisten presiones regulares, los digestores de baja presión, normalmente funcionan con 10 cm de columna de agua (Updated Guidebook on biogas development, (1984) y Barrena et al, (2013); además permitir la fácil liberación del biogás producido por las bacterias en la digestión hacia la parte gaseosa del digestor. Por ello se tomará una presión de trabajo de 10 cm c.a.

Es importante suministrar una presión constante al punto de consumo del biogás, para un correcto funcionamiento de los equipos y no perjudicar la eficiencia. Para mantener la presión constante se deberá instalar un mecanismo de accionamiento mecánico sobre el gasómetro.

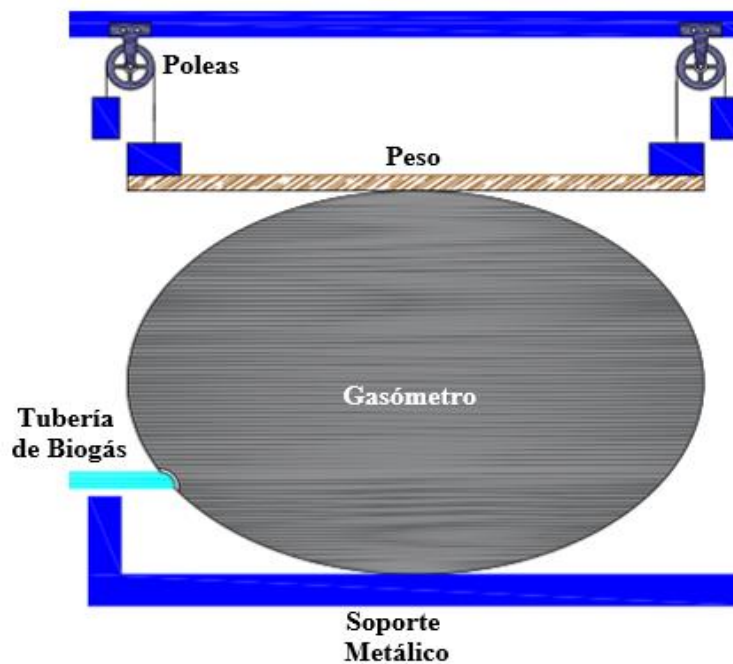


Figura 3: Mecanismo para mantener la presión constante del biogás

Fuente: Elaboración propia

$$P = \frac{F}{A} = \rho * g * h \quad (10)$$

Donde:

P: Presión

W: Peso sobre el gasómetro

A: Área de contacto del peso sobre el biodigestor

ρ_{agua} : Densidad del agua

g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2)

hc.a: Altura de la columna de agua

Si la presión de trabajo es de 10 cm de columna de agua, y $1 \text{ kg/cm}^2 = 1000 \text{ cm c.a.}$, además se asume un área de contacto de 1 m^2 , por lo que el peso será de:

$$W = 10 \text{ cm c. a} * \frac{1 \text{ kg. f/cm}^2}{1000 \text{ cm c. a}} * 1 \text{ m}^2 * \frac{(100 \text{ cm})^2}{(1 \text{ m})^2}$$

$$W = 100 \text{ kg}$$

Se calculó un peso de 100 kg que deberá ir sobre el gasómetro.

3.12.7 Accesorios Básicos

a. Tubería de conducción de biogás

El biogás cuando se genera en el biodigestor, no solo está compuesto de CH₄ y CO₂, sino que también contiene vapor de agua y sulfuro de hidrógeno, las cuales son corrosivas de los materiales ferrosos; por lo que el sistema de conducción no debe estar formado por tuberías, válvulas y accesorios fabricados con metales ferrosos (García, Alamo, y Marcelo, 2017). Por lo general se emplean tuberías de PVC o de acero galvanizado, e incluso se usan mangueras PET en algunos casos (Cotrina y Villanueva, 2013). Además, las tuberías de PVC son más flexibles menos costas que otro tipo de tuberías (Arnott, 1985).

Para determinar el diámetro necesario de la tubería se debe conocer el caudal de biogás que se requiere, la presión suministrada al biogás por el gasómetro, y la distancia que existe entre éste y los puntos de consumo del biogás. Entonces, a mayor longitud y menor diámetro de tubería, mayor caída de presión por fricción, lo cual incrementa las pérdidas de carga en los codos, té, trampa de agua y filtro de gas, entre otros accesorios. (García, Alamo, y Marcelo, 2017, págs. 17-18)

Ahora, se va a determinar el caudal máximo de biogás que necesitan los equipos para su funcionamiento:

$$Q_{max} = Q_{generador} + Q_{cocinas} \quad (11)$$

Donde:

Q_{max} : Caudal total máximo de consumo de biogás (m³/h)

$Q_{generador}$: Caudal máximo de consumo de biogás por el generador eléctrico

$Q_{cocinas}$: Caudal máximo de consumo de biogás por las cocinas

Ahora, el consumo del generador eléctrico será:

$$Q_{generador} = \frac{4.05 \text{ m}^3}{3 \text{ horas}}$$
$$Q_{generador} = 1.35 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

El consumo de las cocinas se asume 4 horas de funcionamiento:

$$Q_{cocinas} = \frac{7.58 \text{ m}^3}{4 \text{ horas}}$$

$$Q_{cocinas} = 1.9 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

Entonces el caudal máximo de biogás será:

$$Q_{max} = 1.35 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} + 1.9 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

$$Q_{max} = 3.25 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

Tabla 6: Diámetros de tubería de acuerdo con el caudal del biogás requerido y longitud del sistema de tuberías

Longitud (m) Caudal (m ³ /h)	Tubería de Acero Galvanizado			Tubería de PVC		
	20	60	100	20	60	100
0.1	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
0.2	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
0.3	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
0.4	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
0.5	1/2"	1/2"	3/4"	1/2"	1/2"	1/2"
1	3/4"	3/4"	3/4"	1/2"	3/4"	3/4"
1.5	3/4"	3/4"	1"	1/2"	3/4"	3/4"
2	3/4"	1"	1"	3/4"	3/4"	1"

Fuente: Tomado de García, Alamo, y Marcelo (2017)

Para tratar de minimizar las pérdidas de presión en las tuberías de conducción de biogás, las tuberías serán de 1.5 pulgadas de diámetro.

b. Filtro desulfurizador

El sulfuro de hidrógeno en combinación con el vapor de agua en el biogás crudo, puede formar ácido sulfúrico (H₂SO₄) el cual es muy corrosivo para los motores y sus componentes y además en concentraciones sobre 100 ppm en volumen, el H₂S es también muy tóxico afirma Varnero (2011). Por ello es recomendable reducir el H₂SO₄ a niveles mínimos.

Un método de remoción de H₂S es poner en contacto el biogás con el óxido de hierro transformándolo en sulfuro de hierro (este método puede ser sensible en presencia de un alto contenido de vapor de agua en el biogás) (Varnero, 2011).

Ahora calcularemos la cantidad de hierro para el eliminar el H₂S, el cual está en función al volumen de biogás y se calcula como sigue según Barrena et al (2013):

Considerando % de H₂S = 0.1% del Volumen de biogás.

$$Vol. H_2S = 0.001 * 12.61 \frac{m^3}{día} \quad (12)$$

$$Vol. H_2S = 12.61 \frac{l}{día}$$

En 1 año de operación (365 días):

$$Vol. H_2S (anual) = 365 * 12.61 \frac{l}{día} \quad (13)$$

$$Vol. H_2S (anual) = 4602.65 \frac{l}{año}$$

Por la ecuación general de los gases:

$$n = \frac{P * V}{R * T} \quad (14)$$

Donde:

R: 0,082 l.atm/mol.K

P: 1 atm

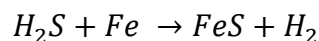
T: 25.61 °C ≈ 298.61 K

Reemplazando,

$$n = \frac{1 (atm) * 4602.65 (l)}{0.082 (l. \frac{atm}{mol} . K) * 298.61}$$

$$n = 187.97 \text{ moles de } H_2S$$

La reacción química del Fe con el H₂S resulta:



Ahora,

$$\text{masa de Fe} = 187.97 \text{ moles de H}_2\text{S} * \frac{(1 \text{ mol de Fe}) * (\frac{56 \text{ g de Fe}}{\text{mol Fe}})}{(1 \text{ mol de H}_2\text{S})}$$

$$\text{masa de Fe} = 10.526 \text{ kg}$$

En este diseño se colocarán 2 cartuchos con Fe en serie, cada uno con 5.3 kg de Fe. Tomando como referencia lo dicho por Barrena et al. (2013), las dimensiones de los cartuchos serán de tubos de PVC de 2 pulgadas de diámetro y por 1 metro de longitud.

c. Válvula de Seguridad

Es importante tener en cuenta que el sistema tiene una presión máxima de trabajo y si es superada puede averiarse, por lo que es necesario tener en cuenta en el diseño válvula de seguridad el cual regule la presión máxima de operación.

En el mercado existen diferentes tipos y marcas de válvulas, para este estudio se está tomando un tipo de válvula económica como las que proponen Cotrina y Villanueva (2013) y Martí (2008): Estos autores proponen una válvula construida de un recipiente plástico conectada a la tubería de conducción de biogás mediante una "T". Dicho recipiente contiene una cantidad determinada de agua y su función es dejar escapar parte del biogás cuando hay mucha presión en el reservorio o en el reactor, evitando que estos se rompan; además, también puede ayudar a atrapar el agua que se condensa al interior de las tuberías.

El nivel de agua del recipiente no debe sobrepasar los 10 cm a la salida de la tubería, ya que este será la presión de trabajo del sistema diseñado.

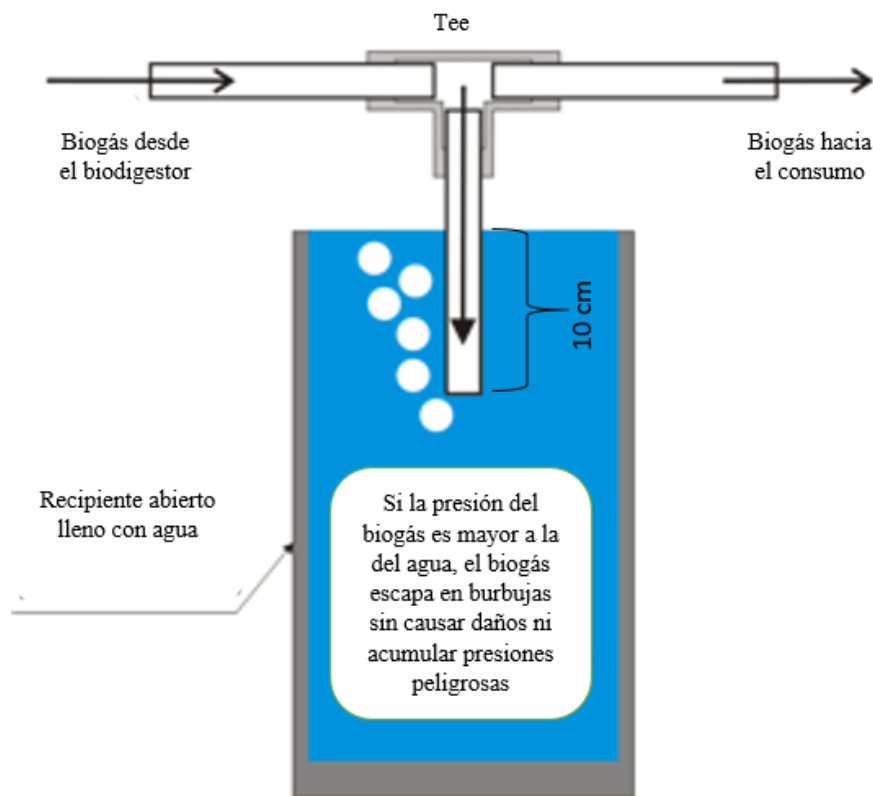


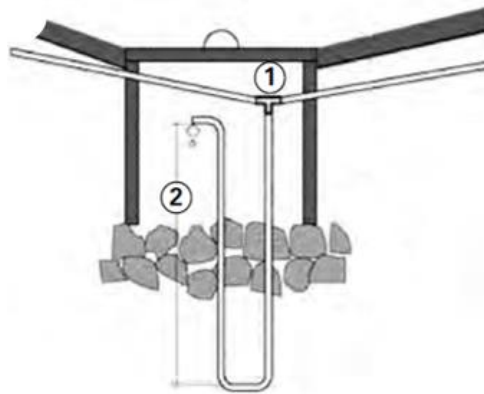
Figura 4: Válvula de Seguridad

Fuente: Basado en Hilbert (2011)

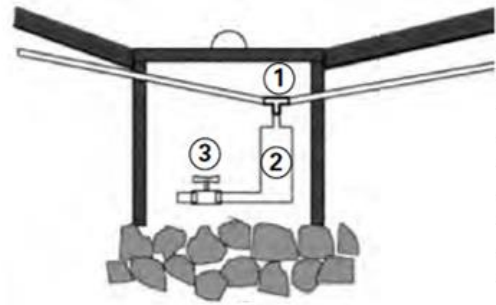
d. Filtro deshidratador

El biogás que sale del fermentador (digestor) está saturado de vapor de agua, y esto puede conducir a la corrosión del equipo de conversión de energía y disminuir la temperatura de la flama del biogás, por lo tanto, debe eliminarse del biogás según Arnott (1985) y Vögeli et al (2014). Cuando el biogás se mueve a través de las tuberías de gas desde el digestor hasta el equipo de conversión, el vapor se enfría en las paredes de las tuberías inclinadas y se condensa. La acumulación de agua condensada puede provocar el bloqueo de la tubería de gas. Cuando el biogás se presuriza, el vapor de agua también se condensará. (Vögeli et al., 2014)

Para evitar estos problemas de condensación, se debe instalar un separador de condensación en el punto más bajo de la tubería. Esto normalmente consiste en un tornillo o válvula, a veces conectado a un pequeño recipiente donde el condensado puede drenarse. (Vögeli et al., 2014)



Trampa de agua automática: (1) Junta "T" en el sistema de Tuberías, (2) columna de agua, igual a la presión máxima del gas + 30% de seguridad.



Trampa de agua manual: (1) Junta "T" en el sistema de Tuberías, (2) depósito para almacenar el agua condensada, (3) válvula para drenaje.

Figura 5: Trampa de agua condensada

Fuente: Vögeli et al (2014)

e. Supresor de Llamas

Un supresor de llamas es un dispositivo de seguridad que debe incorporarse en cada línea de gas. Se coloca comúnmente ya sea justo después de la válvula de gas principal cerca del digester, o justo antes de una estufa de gas o una lámpara. Es más seguro tener uno en ambos lugares. Su propósito es, en caso de un contragolpe accidental, evitar que la llama corra por la tubería de gas hacia el colector tambor y causando una explosión. (Updated Guidebook on biogas development, 1984)

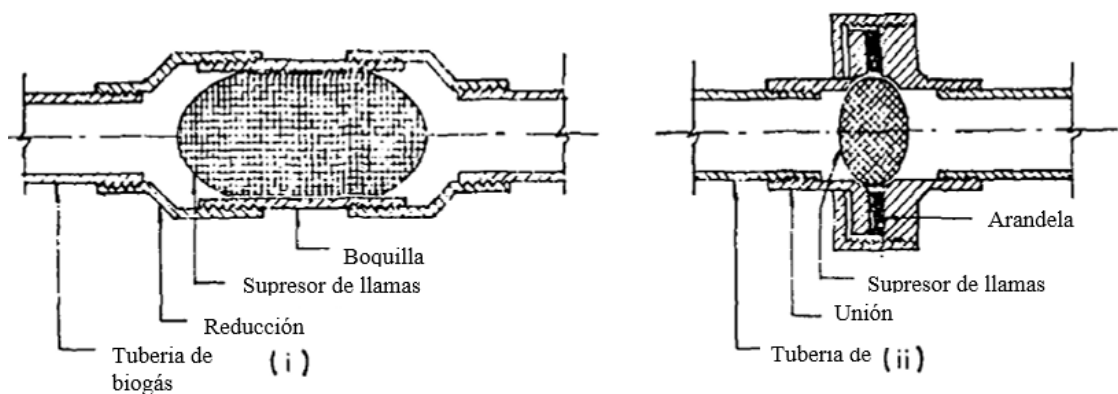


Figura 6: Estructura interna de supresores de llamas

Fuente: Updated Guidebook on biogas development (1984)

Es recomendable utilizar un supresor de llamas de un diámetro mayor al de la tubería de conducción, para permitir el libre flujo del biogás y no ver afectada la

presión de trabajo del sistema. Para nuestro diseño deberá ser de 2 pulgadas de diámetro.

3.13 Estimación la demanda eléctrica del camal municipal de Jaén.

El camal municipal de Jaén cuenta con equipos eléctricos, que son utilizados diariamente para sus labores correspondientes. Para calcular la máxima demanda eléctrica (M.D) de dicho local se realizó un inventario de los equipos con sus respectivas características eléctricas (Voltaje, Corriente, Frecuencia, factor de potencia, ...). Para ello el local se dividió en dos Área (solo para fines de esta investigación): El área Administrativa y el área de sacrificio.

Donde se obtiene una máxima demanda de 4514 Watts. A dicho valor se tiene que multiplicar por un Factor de Simultaneidad (F.S), debido a que todos los equipos o aparatos eléctricos no trabajan en simultaneo, es decir, todos los aparatos eléctricos no están encendidos al mismo tiempo.

Según la información recolectada en el local se determinó un Factor de simultaneidad $F.S = 0.6$, dando una $M.D = 2708.4$ Watts.

3.14 Determinación de la cantidad de biogás que producirá diariamente el sistema de biodigestores.

Se define al biogás como un producto gaseoso obtenido de la digestión anaeróbica de compuestos orgánicos. Su composición depende del sustrato digerido y del tipo de tecnología utilizada, y está compuesta principalmente por, IDAE (2007):

- 50-70% de metano (CH_4).
- 30-40% de anhídrido carbónico (CO_2).
- $\leq 5\%$ de hidrógeno (H_2), ácido sulfhídrico (H_2S), y otros gases.

En general, la producción promedio de biogás oscila entre 0.3 y 0.5 m^3/kg SV o alrededor de 0.35 $m^3 CH_4/kg$ DQO degradado. En la práctica es imposible estimar con exactitud la producción de biogás de una determinada materia prima o mezcla, porque no es posible determinar la proporción exacta de nutrientes y componentes de ella, y las mediciones que se puedan hacer nos darán datos puntuales sobre su

contenido de nutrientes, porque éste puede variar en la biomasa día a día. (Moncayo 2013)

La producción de biogás a partir cualquier materia orgánica está en función de la cantidad de sólidos volátiles presentes; por lo que, el volumen de biogás generado por kg de estiércol fresco depende básicamente de la composición de éste (% SV) y del rendimiento o volumen de biogás que se obtiene por cada kg de SV con que se alimenta al digester. Este factor de producción es diferente según la materia prima porque éste representa las diferentes proporciones en las que se encuentran macromoléculas como proteínas, lípidos y carbohidratos dentro del sustrato, pues cada una de éstas tiene un potencial de biogás (o metano) distinto. (Arrieta, 2016)

El porcentaje de sólidos totales (ST) o también llamado materia seca (MS) varía entre 13 % y 25 % para el caso del estiércol fresco de ganado vacuno; y el porcentaje de sólidos volátiles (SV) con respecto de ST se encuentra entre un 75 % y 82 %. De estos rangos de valores se considerarán los valores más comunes que son 15 % de ST y 12 % de SV (80 % de los ST son SV) (García, Alamo, y Marcelo 2017). Mandujano, Félix, & Martínez (1981) afirma que el porcentaje de sólidos totales para el estiércol de vaca es de 20% y 18% para los desechos de porcinos.

La siguiente formula calcula la producción de biogás teórica:

$$\frac{m^3 \text{ biogas}}{\text{día}} = \frac{kg \text{ estiercol fresco}}{\text{día}} * \%ST * \%SV(\text{de ST}) \quad (15)$$
$$* \text{Rendimiento} \left(\frac{m^3 \text{ biogas}}{kg \text{ SV}} \right)$$

Dado a que en esta investigación no se realizó un análisis para determinar características de la materia orgánica como: % de ST, % de SV, pH, relación C/N, entre otras, se asumen datos típicos para el estiércol bovino como porcino.

Para poder estimar la producción de biogás se tomó datos mínimos según la literatura revisada: El Rendimiento = 0.28 m³ biogás/ kg de S.V para bovinos (se consideró el mismo valor para el excremento de los porcinos), ST = 13% de materia orgánica fresca y S.V = 75% de S.T.

Reemplazando:

$$\text{Volumen biogas} \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) = 646.5 \frac{\text{kg}(\text{estiércol})}{\text{día}} * 0.13 * 0.75 * 0.3 \left(\frac{m^3 \text{ biogas}}{\text{kg SV}} \right)$$

$$\text{Volumen de biogas} = 18.91 \frac{m^3 \text{ biogas}}{\text{día}}$$

El volumen de biogás (a presión atmosférica) calculado es de 18.91 m³/día, donde se asumió valores típicos para este tipo de materia orgánica, y que puede variar en la práctica. Para una mayor precisión se recomienda realizar un análisis de los residuos orgánicos para determinar su composición y con ello su potencial energético.

3.15 Selección de un generador eléctrico que utilice biogás como combustible.

La máxima demanda calculada es de 2.7 kW es un dato que nos servirá para calcular la potencia del generador eléctrico a seleccionar. El Camal Municipal de Jaén cuenta con algunos equipos que incorporan motores eléctricos para su accionamiento, y se sabe que estos tienen una corriente de arranque que es mucho mayor que su corriente nominal, por lo que la potencia del generador eléctrico debe ser mayor.

Para calcular la potencia del generador eléctrico se tiene que multiplicar la máxima demanda calculada por un factor de corrección (por el arranque de los equipos con motores eléctricos), en este caso se considera un factor de corrección F.C =2, dando una potencia de 5.4 kW.

Nótese que la potencia, que la potencia nominal de trabajo para el generador eléctrico será de 2.7 kW, dato que se usará más adelante.

Consideraciones mecánicas del generador

- El biogás generado por diferentes residuos orgánicos contiene diferentes porcentajes de sulfuro de hidrogeno (H₂S), entre 0.1 % al 0.5 %. El H₂S es corrosivo de metales, especialmente cuando reacciona con el agua o la humedad; por lo cual el biogás debe ser purificado para ser usado como combustible en motores de combustión interna Mitzlaff (1988). Se recomienda utilizar filtros especiales para disminuir el H₂S a un porcentaje mínimo recomendado por los fabricantes.

- El biogás es una mezcla principalmente de CH₄ y CO₂, con una concentración promedio de 65% y 35% respectivamente, lo cual debe estar dentro de los parámetros de funcionamiento del fabricante, para un funcionamiento correcto del generador eléctrico.

Consideraciones eléctricas del generador

- El generador eléctrico debe ser trifásico (380/220 V), por la existencia de equipos trifásicos en el camal municipal.
- La frecuencia debe ser de 60 Hz
- Potencia nominal de 5 kW

3.16 Balance de la demanda energética y la producción de biogás

En este punto (subtema) se trata de realizar un balance del consumo de biogás, realizado por las cocinas y el generador eléctrico, y la producción de esta generada por el biodigestor, analizando si habrá un equilibrio entre estos dos aspectos. Para ello se realizarán estimaciones y se tomarán valores típicos.

3.16.1 Consumo de Biogás en las cocinas

Actualmente en el camal Municipal de Jaén, se utiliza leña para calentar agua para lavar las vísceras de los animales sacrificados. En este estudio se está proponiendo reemplazar la leña por el biogás generado en el biodigestor a diseñar.

El biogás puede ser utilizado en quemadores como las estufas en la cual sirve para cocinar o calentar agua como es el caso del camal municipal de Jaén. En la evaluación de una estufa, el parámetro más importante y estudiado es su eficiencia energética, ya que puede resultar vano mejorar la eficiencia del biodigestor cuando el quemador funciona ineficientemente (Poggio 2007).

La eficiencia del quemador (OE) está dada por el producto de la eficiencia nominal de combustión (NCE) y la eficiencia de la transferencia de calor (HTE) (Poggio, 2007).

$$OE = NCE * HTE \quad (16)$$

Donde:

OE: Eficiencia del quemador.

NCE: Eficiencia nominal de combustión.

HTE: Eficiencia de transferencia de calor.

Para determinar estos parámetros como el NCE y HTE se debe calcular de manera experimental estos valores; por lo que en esta investigación solo se tomó datos de la literatura revisada.

La eficiencia de un quemador de gas esta alrededor de 40% al 60% según Juanicó (2007). Eschborn y DEGTZ (1987) también afirma que el rendimiento del biogás en una cocina es de 60%; por lo que para este caso se utilizó un OE = 0.6.

Aplicando la Termodinámica, se va a calcular la cantidad de energía necesaria para calentar agua de una temperatura de 20°C a 70°C (el agua caliente es usada en el camal municipal para lavar las vísceras de los animales sacrificados), con la siguiente ecuación:

$$Q = m * C_e * (T_f - T_i) \quad (17)$$

Donde:

Q: Cantidad de calor (J)

m: masa del agua (g)

C_e: calor específico del agua (4.186 J/g°C)

T_f: Temperatura final (°C)

T_i: Temperatura inicial (°C)

Reemplazando valores:

$$Q = 0.5 * 10^6 * 4.186 * (70 - 20)$$

$$Q = 104.65 \text{ MJ}$$

El valor de Q representa la cantidad de calor transferida al agua con una eficiencia del 100%. Se sabe que hay pérdidas ya que el biogás no se quema en su totalidad, además de pérdidas en la transferencia de calor hacia el agua; por lo que se está tomando una eficiencia del quemador de OE = 0.6.

Entonces tenemos que el calor necesario para calentar el agua, tomando en cuenta las pérdidas es:

$$Q_f = \frac{Q}{OE} \quad (18)$$

$$Q_f = \frac{104.65}{0.6}$$

$$Q_f = 174.42 \text{ MJ}$$

El poder calorífico del biogás, que dependiendo de la concentración del gas metano (CH₄), puede tomar valores entre 4.700 a 5.500 kcal/m³ o 6,27 kWh/m³ y puede generar una cantidad de calor equivalente a 22.000 BTU/m³ o 21.5 MJ/m³ (573 BTU por pie cúbico), valor que puede variar entre 19.7 y 23 MJ/m³ (Moncayo, 2017).

Ahora, el volumen de biogás que se necesita para calentar el agua (V_c) es determinado de la siguiente ecuación 19:

$$V_c = \frac{Q_f}{PCB} \quad (19)$$

Reemplazando se tiene:

$$V_c = \frac{174.42 \text{ MJ}}{23 \text{ MJ/m}^3}$$

$$V_c = 7.58 \text{ m}^3$$

3.16.2 Consumo de Biogás en el Generador eléctrico

En este tópico se trató de realizar algunos cálculos teóricos, basados en revisiones bibliográficas, sobre la cantidad de biogás que se necesita para cubrir la demanda eléctrica del camal municipal de Jaén.

El biogás es un gas combustible, que al igual que otros gases (gas natural, gas licuado de petróleo) tiene ciertas propiedades características comparables con los demás.

Tabla 7: Características del biogás y comparación con otros gases

Tipos de gas	Unidad	Biogás	Gas natural	Propano	Metano	Hidrogeno
Poder calorífico	kWh/m ³	6	10	26	10	3
Peso específico	kg/m ³	1,25	0,7	2,01	0,72	0,09
Relación a la densidad del aire		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Temperatura de encendido	°C	700	650	470	600	585
Contenido de oxígeno para explosión	Vol.-%	6 - 12	4,4 - 15	1,7 - 10,9	4,4 - 16,5	4 - 7

Fuente: Moncayo (2017).

De la tabla 7, se deduce que el Poder Calorífico del biogás (dependiente del porcentaje de gas metano) es menor que el gas natural y gas propano, y mayor que el del hidrogeno. La temperatura de encendido del biogás es superior a los demás gases. Su velocidad de encendido esta alrededor de 0.25 m/s según Moncayo (2017). El contenido de oxígeno para la explosión del biogás es mayor que la del propano e hidrógeno, y depende del porcentaje de CO₂ presente en el biogás.

Según Moncayo (2017), el potencial energético que se puede aprovechar de un metro cúbico de biogás, a través de un generador de energía eléctrica es de alrededor 2.2 kWh de electricidad. La eficiencia de los equipos de conversión del biogás en energía eléctrica juega un factor importante en la producción de electricidad.

Yingjian et al. (2014), muestran que un motor de combustión interna puede generar 70 kW de electricidad con un rendimiento de biogás de 34.84 m³/h, con una eficiencia energética del 28.45%. De esta se deduce que con 1m³ de biogás se puede generar 2.01 kW/h de electricidad.

Se puede afirmar que, la producción de electricidad a través de un generador de electricidad que utilice un motor de combustión interna esta sobre los 2 kW/h de energía eléctrica por cada metro cubico de biogás. Este valor de producción eléctrica puede variar según la concentración de metano, el CO₂ presentes en el biogás y de la eficiencia de los equipos usados para la misma.

Para la estimación de la cantidad de biogás necesaria para generar 2.7 kW (dato calculado anteriormente) de energía eléctrica se tomó un potencial energético para el

biogás de 2.0 kWh/m³, considerando todo tipo de pérdidas. Se determinó un tiempo de trabajo del generador eléctrico de 8 horas diarias, ya que esto es el tiempo aproximado de consumo de energía eléctrica en las que se desarrolla las actividades del camal municipal.

El gasto de biogás para cubrir la demanda eléctrica será como sigue la ecuación 20:

$$Ve = \frac{MD * t}{PE} \quad (20)$$

Donde:

Ve: consumo de biogás estimado (m³)

t: tiempo de funcionamiento del generador eléctrico igual a la potencia de la máxima demanda

PE: potencial energético de transformación del biogás en energía eléctrica

Reemplazando se tiene:

$$Ve = \frac{2.7 * 8}{2.0}$$
$$Ve = 10.8 \text{ m}^3$$

Para cubrir la demanda energética del local se necesitan como mínimo de 18.38 m³ de biogás por día (7.58 m³ y 10.8 m³ en estufas y generador eléctrico respectivamente). Mientras la producción de biogás de 18.91 m³/día, y se puede decir que está equilibrado, con una pequeña reserva de biogás para los imprevistos.

3.17 Evaluación técnico y económico.

La evaluación económica de este proyecto fue tomando en cuenta los siguientes datos:

- Pago por consumo eléctrico mensual promedio = S/. 245.00, anual sería = S/. 2940.00

Los días laborables del camal es de lunes a sábado, por lo cual los domingos y feriados no son laborables, por lo tanto:

- Para el primer año:
Los días laborables= 365 días – (total de domingos al año + días feriados + tiempo de retención)
- Para el segundo año en adelante:
Los días laborables= 365 días – (total de domingos al año + días feriados)

Costos de operación y mantenimiento

- Técnico para mantener operativo el biodigestor = S/. 2000.00
- Peón = S/.1200.00
- Caja chica = S/. 1000.00

El monto asignado para caja chica sería destinado para implementos que permitan trabajar con mayor seguridad como mascarillas, botas, herramientas, etc. Así como para mantener al sistema funcional (pegamento para parches, parches repuestos, etc.)

Monto anual de operación y mantenimiento = S/. 50400.00

Pago por consumo de biogás en las estufas (para los beneficiados)

- Tarifa mensual: S/. 25.00
- Cantidad de Beneficiados: 5
- Monto recaudado anual: S/. 1500.00

Cantidad de biofertilizantes para la venta diarios = 2586 L

Precio estimado para la venta de los biofertilizantes = S/. 0.1

Para costo de inversión se tomará en cuenta el presupuesto que realizaron para la instalación de un biodigestor en el Camal Municipal del Distrito de Jazán, Provincia de Bongorá, departamento Amazonas, Perú, en el cual invirtieron S/. 15513.35 soles para un biodigestor 23m³ de capacidad dada por la ecuación 13 de la Economía de escala.

$$i_2 = i_1 \left(\frac{c_2}{c_1} \right)^{0.6} \quad (21)$$

En donde

i_2 = Inversión esperada

i_1 = Inversión anterior

c_2 = Capacidad del biodigestor calculado

c_1 = Capacidad del biodigestor instalado

$$i_2 = 15513.35 \left(\frac{70}{23} \right)^{0.6}$$

$$i_2 = S/. 30250.16$$

El costo de inversión podrá verse afectado por la inflación económica por lo cual se adicionará un 25% del calculado

$$i = i_2 \times 1.25 = 30250.16$$

$$i = S/. 37812.7$$

Además de lo anterior en nuestro diseño se propone implementar para el diseño un generador eléctrico a biogás, que según calculo deberá ser de 5 kW el cual su costo esta por alrededor de S/. 7500.00

Acondicionamientos para las nuevas instalaciones eléctricas = S/. 12000.00

Transporte para los materiales puestos hasta el Camal Municipal de Jaén = S/. 3500.00

Por lo tanto, nuestra Inversión Total (i_f) será:

$$i_f = S/. 60812.7$$

IV. RESULTADOS

Tabla 8: Cantidad promedio de estiércol y contenido ruminal generado por animales bovinos

BOVINOS	PESO EN CARCAZA (64% DEL PESO EN VIVO) (kg)	PESO DE MATERIA ORGÁNICA (kg)
BOVINO 1	221	18.1
BOVINO 2	254	25.1
BOVINO 3	197	17.4
BOVINO 4	229	19.7
BOVINO 5	247	23.4
PROMEDIO	229.6	20.7

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8 se observa que la materia orgánica promedio es de 20.7 kg respecto al peso en carcaza de los animales bovinos.

Tabla 9: Promedio de Bovinos sacrificados por día para los meses de enero hasta setiembre.

MES	PROMEDIO MENSUAL
Enero	26.3
Febrero	26.1
Marzo	26
Abril	27.5
Mayo	27.6
Junio	30.7
Julio	30.3
Agosto	30.6
Setiembre	27.5
PROMEDIO	28.1

Fuente: Basados en datos proporcionados por el Camal Municipal de Jaén

En la tabla 9 se muestra que el promedio de animales sacrificados diariamente es de 28.1 animales bovinos.

Tabla 10: Muestras de Peso de Materia orgánica porcina

PORCINOS	PESO EN VIVO (kg)	MATERIA ORGÁNICA (kg)
Porcino 1	58	2.5
Porcino 2	73	2.9
Porcino 3	69	2.9
Porcino 4	87	3.6
Porcino 5	67	3
PROMEDIO	70.8	2.98

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se muestra que la cantidad de materia orgánica promedio es de 3 kg para los animales porcinos

Tabla 11: Promedio diario de animales porcinos sacrificados para los meses de enero hasta setiembre.

MES	PROMEDIO MENSUAL
Enero	19.2
Febrero	22
Marzo	21.5
Abril	20.5
Mayo	21.8
Junio	24.6
Julio	25.4
Agosto	23.8
Setiembre	21.9
PROMEDIO	22.3

Fuente: Basados en datos proporcionados por el Camal Municipal de Jaén.

En la tabla 11 se muestra que el promedio de animales sacrificados diariamente es de 22.3 animales porcinos.

Tabla 12: Temperatura media de la ciudad de Jaén – Perú.

MES	TEMPERATURA PROMEDIO (°C)
Enero	24.93
Febrero	25.34
Marzo	25.32
Abril	25
Mayo	25.05
Junio	24.62
Julio	24.69
Agosto	26.04
Setiembre	26.23
Octubre	26.78
Noviembre	27.22
Diciembre	26.07
TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL	25.61

Fuente: Basado en datos de la Estación Experimental de la UNJ

En la tabla 12 se puede apreciar que la temperatura promedio en la ciudad de Jaén es de 25.61 °C.

Tabla 13: Características y Máxima Demanda de Aparatos eléctricos del área Administrativa

Equipo o Artefacto	Características					Cantidad (und)	M.D (W)
	Potencia (W)	F.P	Voltaje (V)	Corriente (A)	Frecuencia (Hz)		
Computadora de Mesa	100	0.9	220	0.51	60	3	270
Impresora	80	0.9	220	0.4	60	2	144
Luminarias	30	1	220	0.14	60	5	150
Otros	100	1	220	0.45	60	1	100
Total							664

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13 se muestran los equipos eléctricos usados en el área administrativa con sus respectivas características eléctricas. Se determinó una máxima demanda de 664 W de potencia solo para dicha área del camal municipal.

Tabla 14: Características y máxima demanda de aparatos eléctricos del área de Sacrificio

Equipo o Artefacto	Características					Cantidad (und)	M.D (W)
	Potencia (W)	F.P	Voltaje (V)	Corriente (A)	Frecuencia (Hz)		
Teclé Eléctrico	1500	0.85	380	4.63	60	1	1275
Sierra eléctrica	1500	0.85	380	4.63	60	1	1275
Luminarias	30	1	220	0.14	60	10	300
Otros	1000	1	220	4.55	60	1	1000
Total							3850

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14 se muestran los equipos eléctricos usados en el área de sacrificio con sus respectivas características eléctricas. Se determinó una máxima demanda de 3850 W de potencia solo para dicha área del camal municipal.

Tabla 15: Características del generador Eléctrico

Características	
Marca	DIYBIOGAS
Modelo	ES-5.5KW
Voltaje Nominal	220/380 V
Corriente Nominal	8.5 A
Potencia Máxima	5.5 kW
Potencia Nominal	5 kW
Frecuencia	60 Hz
Factor de Potencia	1
Método de Enfriamiento	Refrigerado por aire
Tipo de Combustible	Biogás
Tasa de consumo Max.	3.63 m ³ /h
Capacidad de Aceite	1.1 L
Tiempo de trabajo continuo	9 h
Ruido (a 7m)	65 Db
dimensiones del generador	67cm x 53.5cm x 51.5cm

Fuente: Alibaba (2019)

En la tabla 15 se muestran las especificaciones técnicas del generador eléctrico seleccionado para cubrir la demanda eléctrica del área administrativa y del área de sacrificio. Entre sus características más relevantes esta su Potencia Máxima 5.5kW, y una Tasa de Consumo Máximo de 3.63 m³/h de biogás.

Tabla 16: VAN y TIR

Año	C. Inversión	C. Oper. y Mant.	Ingresos	Flujos de Caja	FC Act	FC Acum
0	S/.60,812.7			S/. -60,812.7	S/. -60,812.7	S/. -60,812.7
1		S/. 50,400.0	S/. 75,960.8	S/. 25,560.8	S/. 23,237.1	S/. -37,575.6
2		S/. 50,400.0	S/. 81,502.8	S/. 31,102.8	S/. 25,704.8	S/. -11,870.8
3		S/. 50,400.0	S/. 81,502.8	S/. 31,102.8	S/. 23,368.0	S/. 11,497.2
4		S/. 50,400.0	S/. 81,502.8	S/. 31,102.8	S/. 21,243.6	S/. 32,740.8
5		S/. 50,400.0	S/. 81,502.8	S/. 31,102.8	S/. 19,312.4	S/. 52,053.2
6		S/. 50,400.0	S/. 81,502.8	S/. 31,102.8	S/. 17,556.7	S/. 69,609.9
7		S/. 50,400.0	S/. 81,502.8	S/. 31,102.8	S/. 15,960.7	S/. 85,570.6
8		S/. 50,400.0	S/. 81,502.8	S/. 31,102.8	S/. 14,509.7	S/. 100,080.3
9		S/. 50,400.0	S/. 81,502.8	S/. 31,102.8	S/. 13,190.6	S/. 113,270.9
10		S/. 50,400.0	S/. 81,502.8	S/. 31,102.8	S/. 11,991.5	S/. 125,262.4

Fuente: Elaboración propia

Donde:

VAN: S/. 244,674.30.

TIR: 47%.

PRD: 3 años.

De los resultados obtenidos en la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto, resulta un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 244,674.30 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 47%, además un Tiempo de Recuperación de 3 años, los cual demuestra que el proyecto el viable.

V. DISCUSIÓN

- Para poder estimar la cantidad de materia orgánica (estiércol y contenido ruminal) diaria que se puede recolectar por animal en el camal municipal de Jaén, se decidió realizar muestreos, midiendo la cantidad de estiércol y contenido ruminal de animales vacunos y porcinos de manera aleatoria. Los promedios fueron 20.7 kg y 3 kg de materia orgánica para cada vacuno y porcino respectivamente.
- Para determinar la cantidad total de estiércol y contenido ruminal a recolectar, se determinó el promedio de animales sacrificados diariamente (datos proporcionados por los responsables del funcionamiento del camal municipal de Jaén), llegando a determinar 28.1 y 22.3 animales vacunos y porcinos respectivamente. Obteniendo un total de 646.5 kg de materia orgánica por día.
- El gasto volumétrico de agua que necesitará el biodigestor para su funcionamiento será de 58.3 m³ mensual, el cual no representará un gasto adicional, ya que se utilizará una porción del agua residual proveniente del lavado de las actividades correspondientes al camal. Ver anexos 3 (Gasto volumétrico de agua en el camal municipal de Jaén).
- En este trabajo de investigación se eligió diseñar el modelo de biodigestor tubular, por su bajo costo de inversión, facilidad de instalación y buena eficiencia en la producción de biogás. Además, se decidió diseñar 3 reactores (digestores) por razones descritas en este informe (facilidad de mantenimiento, eficiencia).
- La estimación de la producción de biogás fue calculada por dos métodos revisados en la literatura. Para este cálculo se tomaron valores mínimos con la finalidad de garantizar demostrar que si es posible cubrir con la demanda energética del camal municipal de Jaén.
- Para cubrir la demanda eléctrica del local en estudio, se propuso un generador de energía eléctrica accionado por un motor de combustión interna a biogás, el cual cubriría con lo requerido.

- Se puede utilizar equipos de cogeneración para generar energía eléctrica y calor, mediante la recuperación de parte de la energía térmica contenida en los gases de escape y el fluido de refrigeración del motor de cogeneración (MINENERGÍA/GIZ, 2011), y de esta manera cubrir la demanda eléctrica y de agua caliente que requiere el camal municipal de Jaén. En este trabajo de investigación no se propuso este tipo de equipo por su alto coste de adquisición y mantenimiento, además, de no ser muy comercial para potencias pequeñas.
- El costo de inversión estimado asciende a los S/. 60,812.7 soles, el cual se dedujo de proyectos realizados en el Perú, y además tienen características y volúmenes semejantes a nuestro diseño.
- La estimación de los ingresos anuales que se pueden generar con la venta de los biofertilizantes y el biogás en el sistema propuesto a partir del segundo año asciende a los S/. 81,502.8soles.
- El periodo de recuperación de la inversión será de 3 años.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- La cantidad de materia orgánica promedio por día que se genera en el camal municipal de Jaén es de 646.5 kg en total, de los cuales 579.6 kg son de vacunos y 66.9 kg son de porcinos.
- El tipo de biodigestor seleccionado es del tipo tubular. Se diseñaron 3 digestores que funcionarán en paralelo, el cual compartirán la cámara de entrada y salida; además, la salida de biogás de los reactores estará unidos.
- Se determinó las dimensiones óptimas para cada uno de los componentes básicos que conforman el sistema.
- La producción de biogás estima fue de 18.91m³ al día. Este valor es referencial y podría variar dependiendo de las condiciones de operación y de la composición química de la materia orgánica.
- La máxima demanda eléctrica del camal municipal de Jaén es de 2.7 kW, según las condiciones de trabajo verificadas en dicho local.
- Se seleccionó un generador de energía eléctrica de 5 kW de potencia, del tipo trifásico, con voltaje de operación de 380/220 V y una frecuencia de 60 Hz. El tipo de combustible a biogás.
- Se realizó la evaluación técnica y económica del proyecto. El TIR dio un resultado de 47%, el VAN un resultado de S/. 244,674.30 y un TDR (tiempo de recuperación) de 3 años.

Recomendaciones:

- Se debe incentivar el uso de energías renovables para mitigar la contaminación ambiental que producen estos desechos hacia el medio ambiente.
- Este diseño solo deberá tomarse como un marco de referencia para por las autoridades locales generen un estudio definitivo para la implementación de este sistema de aprovechamiento energético.
- Se recomienda a futuros tesisistas a investigar la generación de biogás de otros residuos orgánicos que están focalizados dentro de nuestra provincia de Jaén,

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alibaba. (04 de 11 de 2019). Obtenido de Alibaba.com: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/portable-2kw-3kw-5kw-biogas-electric-generator-for-sale-62222069461.html?spm=a2700.8699010.normalList.31.7a7d30d26ISIV0>
- Arnott. (1985). *The Biogas/Biofertilizer Business Handbook*. Washington DC: Peace Corps.
- Arrieta, W. (2016). *Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado*. Piura: Universidad de Piura. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11042/2575>
- Barrena, M., Olivares, V., Taramona, L., & Chauca, N. (2017). Influencia de la temperatura ambiente sobre la producción de biogas. *Revista De Investigaciones De La Universidad Le Cordon Bleu*, 11. Obtenido de <http://revistas.ulcb.edu.pe/index.php/REVISTAULCB/article/view/55>
- Barrena, M., Taramona, L., Gamarra, O., & Choy, M. (2013). *Biodigestores tubulares para la producción de biogás*. Lima, Perú: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo (UNASAM) y Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A).
- Cotrina, & Villanueva. (2013). *Biodigestores tubulares unifamiliares: Cartilla práctica para instalación, operación y mantenimiento*. Lima: Soluciones Prácticas. Obtenido de <https://www.solucionespracticas.org.pe/biodigestores-tubulares-unifamiliares-cartilla-practica-para-instalacion-operacion-y-mantenimiento>
- Erreyes, & Pérez. (2015). Implementación de un biodigestor para producir biogas a partir de los residuos orgánicos generados en el centro de faenamiento Municipal Tena, Napo. Tesis, Riobamba.

- Eschborn, & DEGTZ. (1987). *Difusion de la tecnologia del biogas en Colombia : documentation del proyecto*. Cali, Colombia: Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ). Obtenido de <https://es.ircwash.org/resources/difusion-de-la-technologie-del-biogas-en-colombia-documentation-del-proyecto>
- García, R., Alamo, M., & Marcelo, M. (2017). Diseño de un biodigestor tubular para zonas rurales de la región Piura. *XXIV Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXIV- SPES)*, 22.
- Hilbert, J. A. (2011). *Manual para la producción de biogás*. Manual, Buenos Aires. Obtenido de <https://inta.gob.ar/documentos/manual-para-la-produccion-de-biogas>
- IDAE. (2007). *Biomasa: Digestores anaerobios*. Madrid: BESEL, S.A. (Departamento de Energía).
- IRENA, International Renewable Energy Agency. (20 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://www.irena.org>
- Juanicó, L. (2007). Eficiencia de calefactores a gas de tiro balanceado: Medición e impacto en usuarios residenciales. *Interciencia*. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007001200012&lng=es&tlng=es.
- Mago, M. G., Sosa, J. L., Flores, B., & 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©. *INGENIERÍA UC*, 21(2), 07. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/707/70732656008>
- Mandujano, Félix, & Martínez. (1981). *Biogas: Energía y Fertilizantes a partir de desechos orgánicos*. Mexico.
- Mantilla, J. M., Duque, C. A., & Galeano, C. H. (2007). Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogas utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 11. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/643/64327316>
- Martí. (2008). *Guía de diseño y manual de instalacion de Biodigestores Familiares*. Bolivia. Obtenido de http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/10bib_arch.pdf

- MINENERGÍA/GIZ, Ministerio de Energía de Chile y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. (2011). *Guía de Planificación para Proyectos de Biogás en Chile. Proyecto Energías Renovables No Convencionales*. (Ciner, Ed.) Santiago de Chile.
- Mitzlaff, K. (1988). *Engines for biogas*. Eschborn, Alemania: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- Moncayo. (2013). Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogas. *Aqualimpia Engineering e.K.*
- Moncayo. (2017). ¿Qué es el biogás? *Aqualimpia Engineering*, 11. Obtenido de www.aqualimpia.de
- Oblitas. (2018). Estudio técnico-económico para producir biogás a partir de los residuos generados por el camal municipal de Tumán 2017. Tesis, Pimentel.
- PEREZ MEDEL, J. A. (2010). *ESTUDIO Y DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA APLICACION EN PEQUEÑOS GANADEROS Y LECHEROS*. SANTIAGO, CHILE. Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103926/cf-perez_jm.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- PESENCA. (1992). *El biogás y sus aplicaciones*. Barranquilla, Colombia.
- Poggio. (2007). Diseño y construcción de dos digestores anaeróbicos en el altiplano andino. 126. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/41544676>
- Quiroga, & Pabón. (2008). *Manejo y Aprovechamiento de Subproductos y Residuos en Plantas de Beneficio Animal*. Bogotá, Colombia: Rubens Impresores.
- Rojas Soriano, R. (1999). *Guía para realizar investigaciones sociales*. México: Plaza y Valdéz. Obtenido de <https://raulrojassoriano.com/cuallitlanezi/wp-content/themes/raulrojassoriano/assets/libros/guia-realizar-investigaciones-sociales-rojas-soriano.pdf>
- Taramona, L. A., Barrena, M. A., Gamarra, O. A., Choy, M., & Rodríguez, Y. (2017). Rendimiento de biogás y sus beneficios socio económico en el desarrollo rural sostenible de las comunidades altoandinas. Ancash - Perú. *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 09. Obtenido de <http://revistas.ulcb.edu.pe/index.php/REVISTAULCB/article/view/62>

- Thu Hang, B., Lam, V., & Preston, T. R. (2016). Effect of dimensions of plastic biodigester (width:length ratio) on gas production and composition of effluent. *Livestock Research for Rural Development* 28 (6), 28(103). Obtenido de <http://www.lrrd.org/lrrd28/6/bpth28103.html>
- Torres, & Mendoza. (2015). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de estiércol y sangre del camal municipal del distrito de Jazán, provincia de Bongará, departamento Amazonas, Perú. Tesis, Chachapoyas.
- Updated Guidebook on biogas development.* (1984). New York: UN. Obtenido de <http://digitallibrary.un.org/record/17870>
- Varnero, M.T. y Arellano, J. 1990. *Aprovechamiento racional de desechos orgánicos.* Ministerio de Agricultura (FIA). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Informe Técnico. Santiago, Chile.
- Varnero. (2011). *Manual de Biogas.* Manual, Santiago de Chile. Recuperado el 01 de 04 de 2019, de <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Vögeli, Y., Lohri, C., Gallardo, A., Diener, S., & Zurbrügg, C. (2014). *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries: Practical Information and Case Studies.* Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Switzerland.
- Yingjian, Qi, Xiangzhu, & Jiezhi. (2014). Energy balance and efficiency analysis for power generation in internal combustion engine sets using biogas. *Elsevier*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138814000046>

AGRADECIMIENTO

A Dios por habernos permitido este camino que nos preparó en el cual fuimos superando todo obstáculo que se nos presentaba

A nuestros padres por confiar plenamente en nosotros, por su amor y apoyo incondicional para salir adelante paso a paso.

A nuestros familiares y amigos por todo el apoyo que nos brindaron y nos siguen dando.

Al M. SC. Ing. Walter Linder Cabrera Torres, por su tiempo, paciencia y dedicación en el asesoramiento para esta investigación.

A la Universidad Nacional de Jaén, por habernos formado profesionalmente y de manera muy especial a los docentes de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, gracias por esta etapa de nuestras vidas

A la Municipalidad Provincial de Jaén, por facilitarnos realizar la investigación y en especial a la gente trabajadora del Camal municipal de Jaén

DEDICATORIA

A mi madre, hermanos, familia y amigos:

Porque su presencia fue muy especial para haber asumido el reto de realizar este sueño apoyándome incondicionalmente en cada paso de este camino.

Denis Collasos Correa

A mi madre, a quien admiro mucho por haberme forjado como la persona que soy y darme todo su apoyo para lograr mis metas.

A mi hijo por ser la motivación mas grande para concluir esta tesis.

A mis hermanos y todas aquellas personas que me dieron su apoyo.

Lenin Edinson Vargas Pérez

ANEXOS

Anexo 1: Registro de los animales sacrificados

**PARTE DIARIO
RECONOCIMIENTO DE CARNES, MATANZAS Y OTROS**

CAMAL MUNICIPAL 28 DE Mayo DEL 2019

DETALLE	CANTIDAD	PAGO POR SISA	TOTAL
VACUNO	24	12.50	300.00
PORCINO PEQUEÑO	23	3.00	69.00
PORCINO MEDIANO	0	0.00	0.00
PORCINO GRANDE	0	0.00	0.00
CAPRINO	0	0.00	0.00
VISCERA VACUNO	24	2.50	60.00
VISCERA PORCINO	20	1.00	20.00
		TOTAL S/.	449.00

OBSERVACIONES: 3 visceras malogradas


 MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN
 M. V. Marcelo J. Hurtado Pérez
 ADMINISTRADOR CAMAL MUNICIPAL
 ADMINISTRACION


 MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN
 M. V. William Tronzo Davila
 INSPECTOR SANITARIO MUNICIPAL
 M. VETERINARIO



 MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN
Carmen Siles
 RECAUDADOR CAMAL


**PARTE DIARIO
RECONOCIMIENTO DE CARNES, MATANZAS Y OTROS**


CAMAL MUNICIPAL 12 DE Julio DEL 2019

DETALLE	CANTIDAD	PAGO POR SISA	TOTAL
VACUNO	33	12.50	412.50
PORCINO PEQUEÑO	24	3.00	72.00
PORCINO MEDIANO	0	0.00	0.00
PORCINO GRANDE	1	6.00	6.00
CAPRINO	2	3.00	6.00
VISCERA VACUNO	33	2.50	82.50
VISCERA PORCINO	18	1.00	18.00
		TOTAL S/.	597.00

OBSERVACIONES: 7 visceras malogradas


 MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN
 M. V. Marcelo J. Hurtado Pérez
 ADMINISTRADOR CAMAL MUNICIPAL
 ADMINISTRACION


 MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN
 M. V. William Tronzo Davila
 INSPECTOR SANITARIO MUNICIPAL
 M. VETERINARIO


 MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN
Carmen Siles
 RECAUDADOR CAMAL

FECHA	CANTIDAD	
	VACUNO	PORCINO
08-Ene-19	27	20
09-Ene-19	26	19
10-Ene-19	32	21
11-Ene-19		
12-Ene-19	37	22
13-Ene-19		
14-Ene-19	30	26
15-Ene-19	24	21
16-Ene-19	27	17
17-Ene-19	21	17
18-Ene-19	24	20
19-Ene-19	21	20
20-Ene-19		
21-Ene-19	29	21
22-Ene-19	26	17
23-Ene-19	25	19
24-Ene-19	25	16
25-Ene-19	26	20
26-Ene-19	21	17
27-Ene-19		
28-Ene-19	32	12
29-Ene-19	21	19
30-Ene-19	27	18
31-Ene-19	25	22

FECHA	CANTIDAD	
	VACUNO	PORCINO
01-Feb-19	24	26
02-Feb-19	21	25
03-Feb-19		
04-Feb-19	38	25
05-Feb-19	23	25
06-Feb-19	26	20
07-Feb-19	28	23
08-Feb-19	26	22
09-Feb-19	25	21
10-Feb-19		
11-Feb-19	33	23
12-Feb-19	24	21
13-Feb-19	26	22
14-Feb-19	20	21
15-Feb-19	26	20
16-Feb-19	30	25
17-Feb-19		
18-Feb-19	32	23
19-Feb-19	24	18
20-Feb-19	22	21
21-Feb-19	27	18
22-Feb-19	27	18
23-Feb-19	22	24
24-Feb-19		
25-Feb-19	32	20
26-Feb-19	22	23
27-Feb-19	24	23
28-Feb-19	24	22

FECHA	CANTIDAD	
	VACUNO	PORCINO
01-Mar-19	30	21
02-Mar-19	27	25
03-Mar-19		
04-Mar-19	30	21
05-Mar-19	29	22
06-Mar-19	26	18
07-Mar-19	22	19
08-Mar-19	27	21
09-Mar-19	26	29
10-Mar-19		
11-Mar-19	36	28
12-Mar-19	24	26
13-Mar-19	22	18
14-Mar-19	29	22
15-Mar-19	21	22
16-Mar-19	25	18
17-Mar-19		
18-Mar-19	33	23
19-Mar-19	21	24
20-Mar-19	21	17
21-Mar-19	24	21
22-Mar-19	25	23
23-Mar-19	21	18
24-Mar-19		
25-Mar-19	35	22
26-Mar-19	23	18
27-Mar-19	20	19
28-Mar-19	28	22
29-Mar-19	24	19
30-Mar-19	26	22
31-Mar-19		

FECHA	CANTIDAD	
	VACUNO	PORCINO
01-Abr-19	35	22
02-Abr-19	22	18
03-Abr-19	20	15
04-Abr-19		
05-Abr-19	37	23
06-Abr-19	30	26
07-Abr-19		
08-Abr-19	36	22
09-Abr-19	25	19
10-Abr-19	21	20
11-Abr-19	32	21
12-Abr-19	21	19
13-Abr-19	19	17
14-Abr-19		
15-Abr-19	36	25
16-Abr-19	25	19
17-Abr-19	16	8
18-Abr-19		
19-Abr-19		
20-Abr-19	32	27
21-Abr-19		
22-Abr-19	34	25
23-Abr-19	24	20
24-Abr-19	23	15
25-Abr-19	28	18
26-Abr-19	26	19
27-Abr-19	23	21
28-Abr-19		
29-Abr-19	40	27
30-Abr-19	27	26


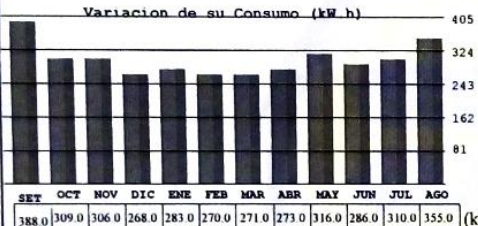
FECHA	CANTIDAD	
	VACUNO	PORCINO
01-May-19		
02-May-19	33	23
03-May-19	28	22
04-May-19	27	22
05-May-19		
06-May-19	34	31
07-May-19	29	20
08-May-19	26	20
09-May-19	26	21
10-May-19	26	27
11-May-19	23	21
12-May-19		
13-May-19	30	22
14-May-19	27	18
15-May-19	19	17
16-May-19	33	18
17-May-19	25	25
18-May-19	22	18
19-May-19		
20-May-19	38	21
21-May-19	25	21
22-May-19	25	16
23-May-19	25	19
24-May-19	27	20
25-May-19	26	25
26-May-19		
27-May-19	37	25
28-May-19	24	23
29-May-19	24	22
30-May-19	29	23
31-May-19	30	28

FECHA	CANTIDAD	
	VACUNO	PORCINO
01-Jun-19	26	16
02-Jun-19		
03-Jun-19	47	33
04-Jun-19		
05-Jun-19	35	30
06-Jun-19	32	28
07-Jun-19	28	27
08-Jun-19	26	23
09-Jun-19		
10-Jun-19	36	25
11-Jun-19	29	24
12-Jun-19	23	19
13-Jun-19	38	21
14-Jun-19	25	28
15-Jun-19	27	25
16-Jun-19		
17-Jun-19	33	26
18-Jun-19	26	23
19-Jun-19	26	19
20-Jun-19	27	18
21-Jun-19	32	25
22-Jun-19	25	22
23-Jun-19		
24-Jun-19	39	29
25-Jun-19	25	21
26-Jun-19	26	23
27-Jun-19	33	23
28-Jun-19	42	37
29-Jun-19		
30-Jun-19		

FECHA	CANTIDAD	
	VACUNO	PORCINO
01-Jul-19	42	25
02-Jul-19	27	24
03-Jul-19	25	25
04-Jul-19	32	23
05-Jul-19	28	26
06-Jul-19	29	22
07-Jul-19		
08-Jul-19	40	30
09-Jul-19	25	23
10-Jul-19	30	22
11-Jul-19	30	26
12-Jul-19	33	25
13-Jul-19	23	24
14-Jul-19		
15-Jul-19	37	26
16-Jul-19	29	24
17-Jul-19	23	22
18-Jul-19	32	25
19-Jul-19	30	28
20-Jul-19	21	19
21-Jul-19		
22-Jul-19	40	30
23-Jul-19	28	21
24-Jul-19	26	31
25-Jul-19	27	30
26-Jul-19	30	26
27-Jul-19	34	31
28-Jul-19		
29-Jul-19		
30-Jul-19	40	29
31-Jul-19	26	24

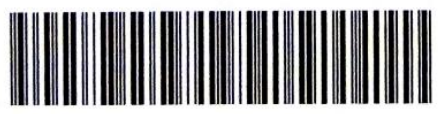
FECHA	CANTIDAD	
	VACUNO	PORCINO
01-Ago-19	33	29
02-Ago-19	34	28
03-Ago-19	29	24
04-Ago-19		
05-Ago-19	34	22
06-Ago-19	27	24
07-Ago-19	25	26
08-Ago-19	33	24
09-Ago-19	36	28
10-Ago-19	26	22
11-Ago-19		
12-Ago-19	38	21
13-Ago-19	27	24
14-Ago-19	29	22
15-Ago-19	27	23
16-Ago-19	30	21
17-Ago-19	29	24
18-Ago-19		
19-Ago-19	37	25
20-Ago-19	29	23
21-Ago-19	25	19
22-Ago-19	35	23
23-Ago-19	28	24

Anexo 2: Datos de suministro y consumo eléctrico

 Electro Oriente Generando Progreso EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PÚBLICO DE ELECTRICIDAD DEL ORIENTE S.A. JR. DOS DE MAYO N° 437 - CHACHAPOYAS R.U.C. 20103795631 RECIBO N° 350-05292078	SUMINISTRO 030961051 codruta RUTA 711-08-22-023850 RUC: 20201987297 MUNICIPALIDAD PROVINCIAL JAEN Carr. JAEN - SAN IGNACIO s/n Sec. LINDEROS RUTA 09																																														
	Salida A2406 SS.EE. E240060 Sist. Eléctrico SE0096																																														
DATOS DE SUMINISTROS Y CONSUMO																																															
Tarifa BT5B No Residencial P.C. 0.160 kW Opc. Tarif. Resol. 206-2013-OS/CD del 14.10.2013 Tipo C1.1 Monofasico-Aereo Tensión 220 V Serie medidor N° 00607275230 EN 2 hilos Lectura Actual 13980 30/08/2019 Lectura Anterior 13625 30/07/2019 Diferencia entre lecturas 355 Factor del medidor 1.0000 Consumo a facturar 355.00 kW.h Precio unitario S/./kWh 0.7440																																															
Variación de su Consumo (kWh)  <table border="1"> <tr> <td>SET</td><td>OCT</td><td>NOV</td><td>DIC</td><td>ENE</td><td>FEB</td><td>MAR</td><td>ABR</td><td>MAY</td><td>JUN</td><td>JUL</td><td>AGO</td> </tr> <tr> <td>388.0</td><td>309.0</td><td>306.0</td><td>268.0</td><td>283.0</td><td>270.0</td><td>271.0</td><td>273.0</td><td>316.0</td><td>286.0</td><td>310.0</td><td>355.0</td> </tr> <tr> <td colspan="11" style="text-align: right;">(kWh)</td> </tr> <tr> <td colspan="11" style="text-align: right;">258.00 264.12 (S/.)</td> </tr> </table>		SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	388.0	309.0	306.0	268.0	283.0	270.0	271.0	273.0	316.0	286.0	310.0	355.0	(kWh)											258.00 264.12 (S/.)										
SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO																																				
388.0	309.0	306.0	268.0	283.0	270.0	271.0	273.0	316.0	286.0	310.0	355.0																																				
(kWh)																																															
258.00 264.12 (S/.)																																															
DETALLES DE LOS IMPORTES FACTURADOS																																															
Cargo Fijo Mensual 3.31 Cargo por Energía 264.12 Alumbrado Público 16.43 Mantenimiento de Conexión 0.97 Reposición de Conexión 0.23																																															
Recargo FOSE:9.78																																															
SUBTOTAL 285.06 Aporte Electríf.Rural 1 2.98																																															
TOTAL FACTURADO 288.04																																															
Redondeo Mes Anterior 0.07 Redondeo Mes Actual -0.11																																															
TOTAL S/ *****288.00																																															
"LAS TARIFAS DE ELECTRICIDAD SON FIJADAS POR OSINERGMIN" Estimado Cliente, los comunicados y avisos de interés, los encontrará en nuestros canales digitales oficiales: www.elor.com.pe Facebook: Electro Oriente Oficial																																															
SON: DOSCIENTOS OCHENTA y OCHO con 00/100 Soles																																															

BIENES TRANSFERIDOS / SERVICIOS PRESTADOS EN LA REGIÓN DE LA SELVA PARA SER CONSUMIDOS EN LA MISMA



Suministro : 030961051 	ConsFac AGO-2019 codruta 711-08-22-023850 Tarifa BT5B C1.1 Recibo 05292078 TOTAL S/ *****288.00 75
Electro Oriente R.U.C. 20103795631	

Anexo 3: Datos del suministro y consumo de agua

DE JAEN
 Nro. 2000 JAEN/JAEN
 DNI: Refer.:
 SEC LINDEROS
 Ruta: 10 Secu.: 15 Ciclo: 001
SETIEMBRE-2019 8317

EPS. MARAÑÓN S.A.
 Empresa Proveedor de Servicios de Saneamiento
 R.U.C. N° 20141814312
 Av. Mariscal Ureta N° 1912 - Jaén
 Cal. Simón Bolívar 210 - San Ignacio
 Cal. San Martín 888 - Bellavista
 www.epsmaranon.com.pe
Código: 44262

DATOS DEL SUMINISTRO
 Servicios Prestados:
 -Servicio de Agua y Desague
 - Uni. Uso: 1 Estatal
 -Horario de Suministro:
 Abast. 00:00 a 23:59

DETALLE DEL CONSUMO
 LECTURA
 Actual 85949
 Anterior 83360
 DIF. LECTURA m³ 2589
 Consumo Fac m³ 2589
 Código de Observación: 001
 Tipo Consumo: MEDIDO
 Mes Consumo: **AGOSTO-2019**

DETALLES DE LOS IMPORTES FACTURADOS

Agua Potable	4,190.74
Desague	1,009.63
Cargo Fijo	1.66
Redondeo Anterior	-0.04
Redondeo Actual	0.01
Total Mes S/.	5,202.00

PERIODO DE CONSUMO
 Fecha Actual 01/09/2019
 Fecha Anterior 01/08/2019

MEDIDOR: 0WF700156W
 Fecha Inst.: 28/10/2011
 Fecha Reinst.:

Estadística de consumo en m³

MENSAJE AL CLIENTE
 Pague A Tiempo Sus Recibos Y Evite El Pago De Moras E Interes

FECHA DE EMISIÓN	FECHA DE VENCIMIENTO
02/09/2019	26/09/2019

TOTAL S/ . **5,202.00

Para reclamos de su facturación acercarse a la oficina de comercialización y reclamos operacionales a la oficina técnica de la EPS.

EPS. MARAÑÓN S.A.
 ÚLTIMO DÍA DE PAGO 26/09/2019
 TARIFA 1 Est
 N° RECIBO 0001 - 1780063 Fecha Emisión: 02/09/2019
 NOMBRE **CAMAL MUNICIPAL DE JAEN**
TOTAL A PAGAR S/ . **5,202.00

SETIEMBRE - 2019 Código: 44262
 44262201909
 Ciclo: 001

Anexo 4: Data de temperatura de un día en la ciudad de Jaén según la estación de la UNJ

									Promedio
Date	Time	Low Temp	Date	Time	Low Temp	Date	Time	Low Temp	Low Temp
Fecha	Hora	Temperatura mínima	Fecha	Hora	Temperatura mínima	Fecha	Hora	Temperatura mínima	Temperatura mínima
Low			Low			Low			
Date	Time	Temp	Date	Time	Temp	Date	Time	Temp	
01/01/2016	12:00 p.m.		01/01/2017	12:00 p.m.		01/01/2018	12:00 a.m.	24.900	24.900
01/01/2016	12:30 p.m.		01/01/2017	12:30 p.m.		01/01/2018	12:30 a.m.	24.900	24.900
01/01/2016	1:00 p.m.		01/01/2017	1:00 p.m.		01/01/2018	1:00 a.m.	24.900	24.900
01/01/2016	1:30 p.m.		01/01/2017	1:30 p.m.		01/01/2018	1:30 a.m.	24.600	24.600
01/01/2016	2:00 p.m.		01/01/2017	2:00 p.m.		01/01/2018	2:00 a.m.	24.400	24.400
01/01/2016	2:30 p.m.		01/01/2017	2:30 p.m.		01/01/2018	2:30 a.m.	24.400	24.400
01/01/2016	3:00 p.m.		01/01/2017	3:00 p.m.		01/01/2018	3:00 a.m.	23.900	23.900
01/01/2016	3:30 p.m.		01/01/2017	3:30 p.m.		01/01/2018	3:30 a.m.	24.000	24.000
01/01/2016	4:00 p.m.		01/01/2017	4:00 p.m.		01/01/2018	4:00 a.m.	23.800	23.800
01/01/2016	4:30 p.m.		01/01/2017	4:30 p.m.		01/01/2018	4:30 a.m.	23.700	23.700
01/01/2016	5:00 p.m.		01/01/2017	5:00 p.m.		01/01/2018	5:00 a.m.	23.800	23.800
01/01/2016	5:30 p.m.		01/01/2017	5:30 p.m.		01/01/2018	5:30 a.m.	24.000	24.000
01/01/2016	6:00 p.m.		01/01/2017	6:00 p.m.		01/01/2018	6:00 a.m.	23.900	23.900
01/01/2016	6:30 p.m.		01/01/2017	6:30 p.m.		01/01/2018	6:30 a.m.	23.500	23.500
01/01/2016	7:00 p.m.		01/01/2017	7:00 p.m.		01/01/2018	7:00 a.m.	23.400	23.400
01/01/2016	7:30 p.m.		01/01/2017	7:30 p.m.		01/01/2018	7:30 a.m.	23.600	23.600
01/01/2016	8:00 p.m.		01/01/2017	8:00 p.m.		01/01/2018	8:00 a.m.	23.500	23.500
01/01/2016	8:30 p.m.		01/01/2017	8:30 p.m.		01/01/2018	8:30 a.m.	23.600	23.600
01/01/2016	9:00 p.m.		01/01/2017	9:00 p.m.		01/01/2018	9:00 a.m.	24.000	24.000
01/01/2016	9:30 p.m.		01/01/2017	9:30 p.m.		01/01/2018	9:30 a.m.	24.300	24.300
01/01/2016	10:00 p.m.		01/01/2017	10:00 p.m.		01/01/2018	10:00 a.m.	24.400	24.400
01/01/2016	11:00 p.m.		01/01/2017	11:00 p.m.		01/01/2018	11:00 a.m.	24.800	24.800
01/01/2016	11:30 p.m.		01/01/2017	11:30 p.m.		01/01/2018	11:30 a.m.	25.000	25.000
01/01/2016	12:00 a.m.		01/01/2017	12:00 a.m.		01/01/2018	12:00 p.m.	25.600	25.600
01/01/2016	12:30 a.m.		01/01/2017	12:30 a.m.		01/01/2018	12:30 p.m.	25.900	25.900
01/01/2016	1:00 a.m.		01/01/2017	1:00 a.m.		01/01/2018	1:00 p.m.	26.700	26.700
01/01/2016	1:30 a.m.		01/01/2017	1:30 a.m.		01/01/2018	1:30 p.m.	26.700	26.700
01/01/2016	2:00 a.m.		01/01/2017	2:00 a.m.		01/01/2018	2:00 p.m.	27.200	27.200
01/01/2016	2:30 a.m.		01/01/2017	2:30 a.m.		01/01/2018	2:30 p.m.	27.700	27.700
01/01/2016	3:00 a.m.		01/01/2017	3:00 a.m.		01/01/2018	3:00 p.m.	28.300	28.300
01/01/2016	3:30 a.m.		01/01/2017	3:30 a.m.		01/01/2018	3:30 p.m.	29.700	29.700
01/01/2016	4:00 a.m.		01/01/2017	4:00 a.m.		01/01/2018	4:00 p.m.	29.400	29.400
01/01/2016	4:30 a.m.		01/01/2017	4:30 a.m.		01/01/2018	4:30 p.m.	28.900	28.900
01/01/2016	5:00 a.m.		01/01/2017	5:00 a.m.		01/01/2018	5:00 p.m.	28.800	28.800
01/01/2016	5:30 a.m.		01/01/2017	5:30 a.m.		01/01/2018	5:30 p.m.	28.900	28.900
01/01/2016	6:00 a.m.		01/01/2017	6:00 a.m.		01/01/2018	6:00 p.m.	28.000	28.000
01/01/2016	6:30 a.m.		01/01/2017	6:30 a.m.		01/01/2018	6:30 p.m.	27.100	27.100
01/01/2016	7:00 a.m.		01/01/2017	7:00 a.m.		01/01/2018	7:00 p.m.	26.900	26.900
01/01/2016	7:30 a.m.		01/01/2017	7:30 a.m.		01/01/2018	7:30 p.m.	26.800	26.800
01/01/2016	8:00 a.m.		01/01/2017	8:00 a.m.		01/01/2018	8:00 p.m.	25.800	25.800
01/01/2016	8:30 a.m.		01/01/2017	8:30 a.m.		01/01/2018	8:30 p.m.	25.300	25.300
01/01/2016	9:00 a.m.		01/01/2017	9:00 a.m.		01/01/2018	9:00 p.m.	25.400	25.400
01/01/2016	9:30 a.m.		01/01/2017	9:30 a.m.		01/01/2018	9:30 p.m.	25.300	25.300
01/01/2016	10:00 a.m.		01/01/2017	10:00 a.m.		01/01/2018	10:00 p.m.	24.600	24.600
01/01/2016	10:30 a.m.		01/01/2017	10:30 a.m.		01/01/2018	10:30 p.m.	24.200	24.200
01/01/2016	11:00 a.m.		01/01/2017	11:00 a.m.		01/01/2018	11:00 p.m.	24.300	24.300
01/01/2016	11:30 a.m.		01/01/2017	11:30 a.m.		01/01/2018	11:30 p.m.	24.600	24.600
02/01/2016	12:00 p.m.		02/01/2017	12:00 p.m.		02/01/2018	12:00 a.m.	24.900	24.900

Anexo 5: Presupuesto que realizaron para la instalación de un biodigestor en el Camal Municipal del Distrito de Jazán, Provincia de Bongorá, departamento Amazonas, Perú.

item	descripción	unidad	cantidad	precio	parcial	presupuesto
1.0.0	SISTEMA DE BIODIGESTION				6004.35	
1.1.0	Biodigestores de PVC				3700.00	
1.1.1	Biodigestor de 1.27m de diámetro x 18m de largo	und	1.00	2200.00	2200.00	
1.1.2	Gasómetro de 1.27m de diámetro x 6m de largo	und	1.00	1500.00	1500.00	
1.2.0	Accesorios de gasfitería				264.35	
1.2.1	Tubos de PVC de ½" C:10	und	4.00	10.00	40.00	
1.2.2	Tubos de PVC de 4"	und	2.00	20.00	40.00	
1.2.3	Tubo de PVC de 2" C:10	und	1.00	30.00	30.00	
1.2.4	Codo PVC 1/2" presión	und	15.00	1.00	15.00	
1.2.5	Válvula de PVC ½"	und	7.00	5.00	35.00	
1.2.6	Tee PVC ½" presión	und	4.00	1.00	4.00	
1.2.7	Reducción de 2 a ½" PVC	und	4.00	3.00	12.00	
1.2.8	Pegamento para PVC x 1/8	und	1.00	10.00	10.00	
1.2.9	Cinta teflón	rollo	2.00	1.00	2.00	
1.2.10	Unión universal de PVC de ½"	und	10.00	3.00	30.00	
1.2.11	Clavo para madera 2"	kg	10.30	4.50	46.35	
1.3.0	Otros gastos				2040.00	
1.3.1	Cilindros metálicos	und	4.00	50.00	200.00	
1.3.2	Palana	und	1.00	30.00	30.00	
1.3.3	Baldes de 18l	und	2.00	5.00	10.00	
1.3.4	Mano de Obra	glb	1.00	1500.00	1500.00	
1.3.5	Cocina a biogas	und	1.00	100.00	100.00	
1.3.6	Transporte de materiales	viaje	2.00	100.00	200.00	
2.0.0	CASETA PARA PROTECCION				9509.00	
2.1.0	Ladrillo 9x10.5x23	und	2500.00	1.00	2500.00	
2.2.0	Cemento	bolsa	50.00	24.00	1200.00	
2.3.0	Fierro corrugado de 3/8"	varilla	24.00	15.00	360.00	
2.4.0	Fierro corrugado de 1/4"	varilla	12.00	7.00	84.00	
2.5.0	Alambre N° 8	kg	15.00	5.00	75.00	
2.6.0	Alambre N° 16	kg	20.00	5.00	100.00	
2.7.0	Hormigón	m3	10.00	40.00	400.00	
2.8.0	Arena de Cerro	m3	2.00	50.00	100.00	
2.9.0	Viga de madera 3,5 m x 4"	und	10.00	100.00	1000.00	
2.10.0	Cinta de madera 3m x 2" x 1"	und	20.00	15.00	300.00	
2.11.0	Calamina 1.80m x 0.80m x 0.20	plancha	85.00	12.00	1140.00	
2.12.0	Calamina transparente grande	plancha	10.00	20.00	200.00	
2.13.0	Puerta de madera	und	1.00	50.00	50.00	
2.14.0	Mano de Obra para construcción	glb	1.00	2000.00	2000.00	

15,513.35

Anexo 6: Uso de leña, presencia del hollín y humo

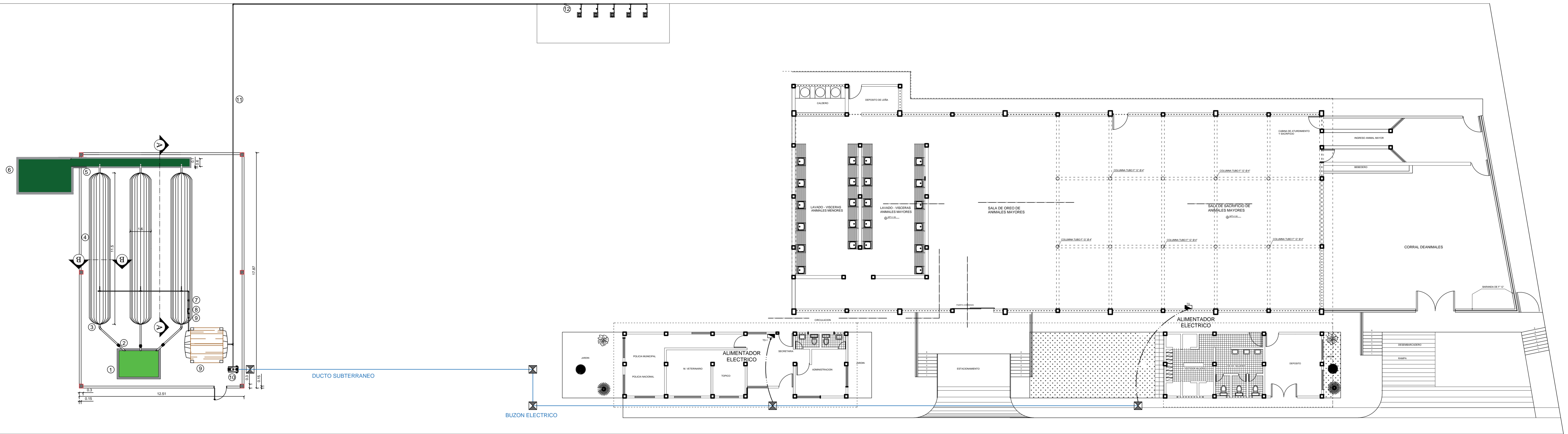


Anexo 7: Residuos orgánicos que no son aprovechados y en consecuencia son un problema

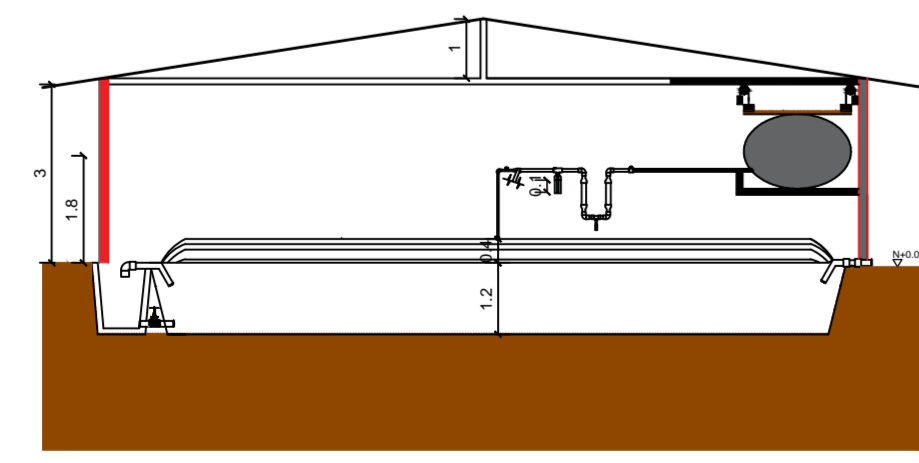


Anexo 8: Generador eléctrico a biogás

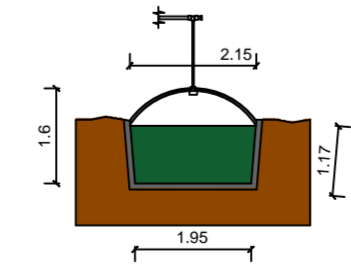




CORTE A-A

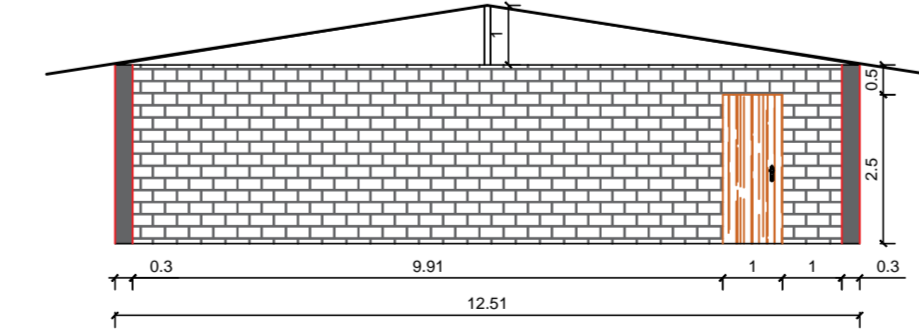


CORTE B-B

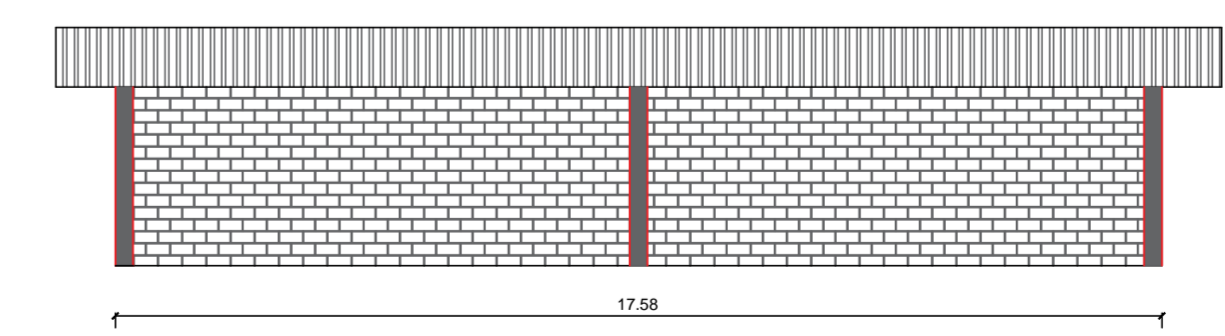


LEYENDA	
1	CAMARA DE CARGA
2	VALVULA DE LLENADO DE 4"
3	ENTRADA DEL REACTOR
4	REACTOR
5	SALIDA DE BIOABONOS
6	CAMARA DE DESCARGA
7	VALVULA DE SEGURIDAD
8	FILTRO DE H ₂ S
9	VALVULA ANTIRETORNO
10	MOTOR GENERADOR A BIOGAS
11	RED DE BIOGAS A COCINAS
12	INSTALACION PARA COCINAS

VISTA FRONTAL PARA LA CASETA



VISTA LATERAL PARA LA CASETA



Proyecto: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE BIODIGESTORES PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DEL CAMAL MUNICIPAL DE JAÉN - PERÚ**

Ubicación : Departamento : Cajamarca Provincia : Jaén Distrito : Jaén	Plano: DISEÑO DEL BIODIGESTOR Materia prima: Residuos orgánicos	N°Lamina: I.B.-01
Fecha : NOVIEMBRE-2019	Escala : INDICADA	Dibujo: D.C.C. - L.E.V.P.