



**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE GAS PRODUCIDO POR EL ESTIÉRCOL DE  
LOS CERDOS EN LA VEREDA JURACAMBITA DEL MUNICIPIO DE  
ZETAQUIRA**

**JHON EDICSON CRISTANCHO BARRERA**  
CÓDIGO 21131621301  
**EDWIN FRANCISCO VANEGAS CASALLAS**  
CÓDIGO 21131625510

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO**  
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA  
TUNJA, COLOMBIA  
2022

**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE GAS PRODUCIDO POR EL ESTIÉRCOL DE  
LOS CERDOS EN LA VEREDA JURACAMBITA DEL MUNICIPIO DE  
ZETAQUIRA**

**JHON EDICSON CRISTANCHO BARRERA  
EDWIN FRANCISCO VANEGAS CASALLAS**

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE:  
**INGENIERO ELECTROMECÁNICO**

DIRECTOR:  
Ph.D. NAIRO JOSÉ CAVIELES ROJAS

CODIRECTOR:  
Ph.D. CARLOS RAMON BATISTA RODRIGUEZ

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:  
INGENIERÍA SUSTENTABLE

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO**  
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA  
TUNJA, COLOMBIA  
2022

## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado: Diseño de un biodigestor de gas producido por el estiércol de los cerdos en la vereda Juracambita del municipio de Zetaquirá, Cumple con los requisitos para optar al título de ingeniero electromecánico.

---

Firma del Tutor

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

"Nuestras virtudes y nuestros defectos son inseparables, como la fuerza y la materia. Cuando se separan, el hombre ya no existe".

Nikola Tesla.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiéramos agradecer a Dios por las bendiciones que recibimos durante este estudio, por acompañarnos día tras día y llenar nuestras vidas de alegrías y bendiciones.

A nuestros familiares, a la vida, por su buen ejemplo, que hicieron de nosotros personas honestas, con principios y valores que fortalecieron nuestra forma de pensar, actuar y tomar decisiones. Este agradecimiento va dirigido a ellos desde el fondo de nuestros corazones por su amor, ternura y comprensión.

A mi mentor de investigación, Ph.D. Nairo José Cavieles Rojas, quien dirigió y dirigió este proceso, aportó mucho al proyecto, por su paciencia y dedicación a este trabajo de tesis.

A mis compañeros que me han apoyado y me han permitido entrar en sus vidas durante casi cinco años de convivencia dentro y fuera de este semestre.

Finalmente, la Universidad Antonio Nariño, Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica Y Biomédica, nos acogió permitiéndonos formar parte de la gran familia UAN, brindándonos nuevos conocimientos, así como nuestras expectativas profesionales y personales.

## RESUMEN

Este trabajo de grado se basó en la necesidad de aplicar una gestión de un proceso mediante intervalos de los residuos orgánicos generados por los porcinos en las instalaciones agrícolas de la vereda Juracambita, municipio de Zetaquirá. El objetivo de este trabajo, es exponer, cómo se dio el diseño de un biodigestor para procesar los desperdicios de estiércol de cerdo y así aprovecharlos para su reutilización y tratamiento, filtrándolos de manera química, física y biológica, constituyendo una fuente de energía renovable. El planteamiento del problema condujo a una hipótesis relacionada con la protección del medio ambiente por medio de la biorremediación de estiércol porcino y los beneficios ambientales en la vereda Juracambita, que se ha tenido en cuenta en el diseño de un biodigestor de proceso continuo para la generación de gas. El diseño se desarrolló en detalle para el aprovechamiento del tanque de bioanillo, con base en la identificación de normativa y componentes esenciales para su diseño. Cabe señalar, que se utilizó los datos especificados por el Ministerio del Medio Ambiente de Colombia y los lineamientos ambientales para el subsector porcino. Con lo anterior, la vereda tuvo la capacidad de producción de biogás para su consumo en los hogares. El método utilizado en este estudio fue de tipo práctico y el tipo de investigación documental y experimental, donde se espera obtener gas natural por medio de un biodigestor.

**Palabras clave:** Gas natural, biodigestor, reutilización de residuos orgánicos y estiércol porcino.

## ABSTRACT

This degree work was based on the need to apply a process management through intervals of organic waste generated by pigs in the agricultural facilities of the Juracambita village, municipality of Zetaquirá. The objective of this work is to show how a biodigester was designed to process pig manure waste and thus take advantage of it for reuse and treatment, filtering it chemically, physically and biologically, constituting a source of renewable energy. The problem statement led to a hypothesis related to the protection of the environment through the bioremediation of pig manure and the environmental benefits in the Juracambita village, which has been taken into account in the design of a semi-continuous process biodigester for gas generation. The design was developed in detail for the use of the bio-ring tank, based on the identification of regulations and essential components for its design. It should be noted that the data specified by the Colombian Ministry of the Environment and the environmental guidelines for the swine subsector were used. With the above, the village had the capacity to produce biogas for household consumption. The method used in this study was of the practical type and the type of documentary and experimental research, where it is expected to obtain natural gas by means of a biodigester.

**Keywords:** Natural gas, biodigester, reuse of organic waste and pig manure.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN .....	13
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE .....	16
ANTECEDENTES .....	16
JUSTIFICACIÓN .....	19
OBJETIVOS .....	21
OBJETIVO GENERAL .....	21
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
CAPÍTULO 2. MARCO REFERENCIAL .....	22
2. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 BIODIGESTOR .....	22
2.1.1 tipos de biodigestores .....	22
2.1.2 Partes de un biodigestor .....	26
2.1.3 Ventajas y desventajas de los biodigestores .....	28
2.1.4 Planificación de un biodigestor .....	29
CAPÍTULO 3. DISEÑO METODOLÓGICO .....	32
3. DISEÑO METODOLÓGICO .....	32
3.1 PRIMERA ETAPA.....	32
3.2 SEGUNDA ETAPA .....	32
3.3 TERCERA ETAPA .....	33
3.4 CUARTA ETAPA.....	33
3.5 QUINTA ETAPA.....	33
CAPÍTULO 4. DISEÑO DE BIODIGESTOR .....	35
4.1 ANTECEDENTES .....	35
4.2 NORMATIVA.....	38
4.3 PRODUCCIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS .....	40
4.3.1 Cálculo de estiércol.....	40
4.3.2 Cálculo de orina .....	41
4.3.3 Cálculo de la materia prima para la carga del biodigestor .....	42
4.3.4 Cálculo del porcentaje de sólidos contenidos en carga .....	42
4.3.4 Cálculo de sólidos contenidos en la carga .....	43
4.3.5 Cálculo masa de agua requerida para la mezcla .....	44
4.3.6 Cálculo de la carga que ingresa al biodigestor .....	44
4.3.7 Cálculo tiempo de retención.....	45
4.3.8 Cálculo del volumen necesario para el biodigestor .....	45



4.3.9 Cálculo producción de biogás .....	46
4.4 DISEÑO .....	48
4.4.1 Cálculo del volumen total del biodigestor .....	49
4.4.2 Diseño cámara de digestión cálculo diámetro y altura .....	50
4.4.3 Diseño cámara de carga o llenado .....	60
4.4.4 Diseño cámara de descarga .....	62
4.4.5 Cálculo de materiales para la construcción de las cámaras de llenado y descarga           63	
4.4.6 Diseño campana o gasómetro .....	70
4.4.7 Diseño pared divisora .....	75
4.4.8 Diseño riel guía .....	79
4.4.9 Tuberías   79	
CAPÍTULO 5. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICO .....	82
5.1 COSTO DE MATERIALES .....	83
5.2 COSTO MANO DE OBRA.....	83
5.3 CÁLCULO DEL VAN Y TIR.....	86
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....	88
7. BIBLIOGRAFÍA .....	89

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
<b>Figura 2-1.</b> Plantas de suelo uno.....	23
<b>Figura 2-2.</b> Plantas de suelo dos.....	23
<b>Figura 2-3.</b> Plantas de domo fijo.....	24
<b>Figura 2-4.</b> Planta estilo indio. ....	25
<b>Figura 2-5</b> Biodigestor tipo hindú.....	26
<b>Figura 4-6.</b> Biodigestor tipo hindú o campana flotante .....	49
<b>Figura 4-7.</b> Esquema cámara de digestión.....	52
<b>Figura 4-8.</b> Esquema cámara de llenado.....	62
<b>Figura 4-9.</b> Esquema cámara de descarga .....	63
<b>Figura 4-10.</b> Esquema campana .....	72
<b>Figura 4-11.</b> Diagrama de una instalación de biogás .....	81

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 4-1.</b> Características del estiércol en algunos animales .....	40
<b>Tabla 4-2.</b> Peso vivo promedio por animal (PVP) .....	40
<b>Tabla 4-3.</b> Uso y consumos de biogás.....	48
<b>Tabla 4-4.</b> Dosificación de materiales para mortero.....	56
<b>Tabla 4-5.</b> Dosificación de materiales para concreto .....	58
<b>Tabla 4-6.</b> Selección tubería y pérdida de presión en mm CA para tubería PVC, por cada 10 m de tubería. ....	80
<b>Tabla 4-7.</b> Total, de materiales .....	82
<b>Tabla 5-8.</b> Costo de materiales .....	83
<b>Tabla 5-9.</b> Costo mano de obra .....	83
<b>Tabla 5-10.</b> Ingresos y egresos.....	86
<b>Tabla 5-11.</b> VAN y TIR.....	86

## ABREVIATURAS

<b>SO</b>	Masa Orgánica Seca
<b>ST</b>	Sólidos Totales
<b>TR</b>	Tiempo de Retención
<b>C/N</b>	Relación Carbono Nitrógeno
<b>PVC</b>	Policloruro de vinilo
<b>GLP</b>	Gas Licuado de Petróleo
<b>PE</b>	Producción de Estiércol
<b>PO</b>	Producción de Orina
<b>EST</b>	Sólidos en el estiércol
<b>VAN</b>	Valor Actual Neto
<b>TIR</b>	Tasa Interna de Retorno
<b>CA</b>	Columna de agua

## INTRODUCCIÓN

El biogás se produce de forma natural a partir de la descomposición de materia orgánica en condición anaeróbica, esta biodigestión se ha utilizado ampliamente en todo el mundo durante casi 200 años, tanto en los hogares como en la industria, para la producción de metano, la estabilización de desechos orgánicos y la producción de fertilizantes orgánicos. Alessandro Volta fue el primero en descubrir el origen biológico del metano al observar la formación de gases combustibles en lagos y aguas estancadas, vinculando esta formación con la cantidad de materia orgánica en descomposición sedimentada.

Hay planes para introducir un biodigestor para usar estiércol de cerdo en la industria, ya que puede generar energía y gas natural, también se está implementando actualmente en varios países como Argentina, Chile, Perú, México y otros, estos países son muy conscientes del uso de la energía natural.

Uno de los mecanismos de tratamiento de los residuos orgánicos que se producen en este tipo de industrias es el uso de biodigestores, en los que los residuos orgánicos son fermentados, descompuestos en biogás y sus componentes contribuyen de forma significativa a reducir la degradación ambiental.

Existen muchas ventajas en el uso de estiércol de cerdo para separar de este el metano, a través, del tratamiento de excrementos de ganado, que reduce los gases de efecto invernadero y la materia orgánica de los vertederos, la producción de biogás es una fuente potencial de ingresos económicos para los agricultores, en este caso, los agricultores que viven en la vereda Juracambita en el municipio de Zetaquirá. Algunos de los proyectos desarrollados en Colombia se han llevado a cabo en Pitalito, Huila, donde familias han establecido mecanismos de suministro de biogás para el uso doméstico a partir de aprovechamiento de los desechos fecales de los porcinos [43]

En algunos municipios como Puerto Gaitán, Meta la empresa Fazenda ha implementado en su planta la generación eléctrica a partir del biogás promovido por las excretas de los cerdos con el objetivo de ser amigables con el medio ambiente [36]. En Santander, la industria agrícola produce grandes cantidades de biomasa, esto incluye excrementos de animales, desechos de plantas y otras materias orgánicas que pueden generar energía y gas.

El desecho del excremento de los animales tiene un impacto negativo en el medio ambiente, incluyendo la contaminación del suelo y el agua, las emisiones de gases de efecto invernadero por falta de información y manejo de estos insumos [4]. Las familias con cerdos en Colombia, tienden a desechar el excremento y esto tiene como resultado tener un manejo inadecuado en vez de aprovechar sus beneficios, se dispersa en el suelo y esto provoca una situación insalubre y de malos olores.

Cuando el biodigestor se diseñe en la vereda de Juracambita en el municipio de Zetaquirá, será una opción viable ya que es una alternativa que no solo resuelve el problema ambiental con el manejo adecuado de la materia orgánica, sino que también puede demostrar el potencial de ahorro para las granjas porcinas al ser autosuficiente. El uso adecuado del metano residual es una forma importante de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al medio ambiente, ya que es una actividad que contribuye a la reducción de combustibles fósiles.

La colocación de desechos porcinos en biodigestores sería una opción con importantes ventajas a pequeña, mediana y gran escala, con mecanismos apropiados para el tratamiento y disposición final de los desechos orgánicos, reflejando más que una simple reintegración.

Por ello, la posibilidad de transformarlos en energía, pero también de evitar las sanciones legales del Ministerio del Medio Ambiente y el posible cierre temporal o definitivo de la agricultura por incumplimiento de la normativa estatal sobre disposición en vertederos, residuos sólidos, etc.

Este estudio describió las propiedades físico-químicas de las excretas porcinas y determinó los parámetros de diseño y desempeño de un tanque biodigestor de extracción de gas natural basado en estas propiedades.

El presente proyecto obtendrá un alcance que aporta una solución al problema medio ambiental existente en la vereda en mención, mediante el diseño de un biodigestor que permita el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados por la cría de cerdos.

Se tiene previsto como resultado, el diseño de un biodigestor en la vereda Juracambita del municipio de Zetaquirá, con el fin de reducir los impactos económicos, sociales y ambientales que ocasionan los desechos orgánicos de los cerdos.

Para la estimación del tanque de descomposición de residuos orgánicos o depósito de compostaje biológico, se tiene en cuenta que es un recipiente hermético e impermeable, el cual al interior puede precipitar la materia orgánica fermentada, estiércol de cerdo, en una determinada dilución de agua, para que por fermentación anaeróbica produzca gas metano rico en nitrógeno, fósforo y potasio, que va aumentando su presión y su volumen.

Para la explotación y diversificación de los usos del biogás se tiene en cuenta que se puede mejorar la eficiencia económica de la vereda Juracambita lo cual podría convertirse en una fuente de energía, ya sea para cocinar o generar electricidad, usada así, como una fuente confiable de ingresos financieros, en nuestro país se han registrado más de 450 biodigestores domiciliarios de cúpula fija.

Teniendo en cuenta la bibliografía consultada, para la mitigación de la problemática propuesta, se plantea dar solución a las necesidades sociales y ambientales de la vereda Juracambita, realizando un análisis metodológico de ventajas y desventajas, factores y elementos que determinaran las etapas en la elaboración del diseño de un biodigestor a gas con el estiércol de los porcinos, su implementación y estudio de viabilidad.

## **CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE**

### **ANTECEDENTES**

Juracambita es una pequeña localidad de Boyacá en el municipio de Zetaquirá, cuyas fuentes de ingresos son la ganadería y la porcicultura.

Actualmente, el municipio de Zetaquirá se ve afectado por la contaminación por el olor de las granjas porcinas, debido a que no se tiene conocimiento sobre el manejo de los desechos porcinos. Como mecanismo para reducir el impacto ambiental y simultáneamente generar beneficios económicos y sociales, se propone utilizar el estiércol porcino como materia prima para la producción de energía a través de un tanque biodigestor.

De no aprovecharse los desechos anteriores, se incrementarán los malos olores, las enfermedades, el impacto ambiental, la mala imagen de la industria turística y el impacto negativo en el sector social y económico del municipio.

Cabe resaltar que, en la década de 1970, el gobierno chino instaló más de 7 millones de contenedores de biogás en hogares agrícolas para satisfacer las necesidades energéticas de la población. En 2007, la mayoría de los casi 27 millones de plantas de biogás instaladas en el mundo estaban ubicadas en China, mientras que, en 2010, cuando se construyeron 5 millones de unidades nuevas, se instalaron un total de alrededor de 40 millones de contenedores de biogás en China [3]

En el mismo continente asiático, el gobierno indio financió 4,4 millones de biodigestores que se encontraban en funcionamiento, se han desarrollado y se siguen desarrollando varios proyectos en África, para difundir esta tecnología, se estima que se han construido casi 70.000 unidades de biodegradación [2].

Los retrasos en el desarrollo de tecnologías de digestión anaeróbica en América Latina se deben principalmente a obstáculos tales como: alta disponibilidad de madera como combustible en áreas rurales, necesidad de mejoras tecnológicas, falta de aceptación pública y altos costos de inversión para implementar la tecnología. En Colombia, las plantas de biotratamiento no se están introduciendo y utilizando para satisfacer necesidades energéticas, como es el caso del continente



asiático, sino para solucionar problemas relacionados con el manejo de aguas residuales, fertilizantes y olores [1].

De hecho, en un inicio se construyó una gran cantidad de tanques de bioreciclaje, más porque requería la implementación de sistemas de producción más limpia, lo que a su vez estaba de acuerdo con la ley y las obligaciones nacionales e internacionales obtenidas mediante la firma de diversos tratados y convenios, que para la implementación de sistemas de producción más limpia Interesados en energía y desarrollo de sistemas de producción de biogás [47].

En la industria porcina en particular, la contaminación de las fuentes de agua por emisiones orgánicas ha obligado a las autoridades ambientales a cobrar tarifas de compensación cada vez más altas a las granjas que generan descargas de aguas residuales, lo que obliga a los criadores de cerdos a construir sistemas para reducir la contaminación [25]. En el mismo plan, el Departamento de Protección Ambiental [16], también requiere la gestión de otros aspectos relacionados, tales como:

- Lucha contra moscas y roedores.
- Control de olores.
- Conservación y uso eficiente del agua.
- Tratamiento de aguas residuales.
- Manejo de mortalidad, placentación y amputación.
- Gestión integral de residuos peligrosos.

Hoy en día, diversas organizaciones y universidades tanto en el país como en el exterior han desarrollado y continúan desarrollando proyectos e investigaciones encaminadas a resolver los problemas específicos de cada industria utilizando el contenido energético de la biomasa producida como subproducto de las actividades, algunos proyectos incluso han creado prototipos de digestión biológica [39].

El resultado de todos estos esfuerzos conjuntos de la academia y el sector privado, significa que Colombia ahora cuenta con digestores anaeróbios que producen biogás a partir de subproductos de la palma, aves y otras industrias, cerdos, cervecerías, productos lácteos e incluso subproductos o aguas residuales de plantas de procesamiento animal y vertederos [23].

Uno de los casos de éxito más reconocidos en la implementación de tanques de bioentorno es el caso reportado por la industria porcina, donde se instalaron 4

sistemas de bioentorno de flujo continuo en Aliar - La Fazenda, Puerto Gaitán (Meta), alimentados con aproximadamente 72.800 cerdos de faena. Los cerdos de desecho de la granja producen 136.528 metros cúbicos de biogás al día, que se pueden utilizar para generar electricidad [47].

Hasta ahora, la falta de información y conocimiento sobre la correcta selección, instalación, mantenimiento y operación es la razón por la cual la mayoría de los sistemas de bio-anillo instalados no funcionan y/o fallan varias veces durante su funcionamiento. Como se notó en los antecedentes anteriores, los agricultores a menudo usan digestores biológicos en áreas donde la leña es escasa o donde el gas natural y los suministros de energía son limitados.

Esto se ha observado en áreas rurales de Colombia, con diferentes autores involucrados en diferentes programas de implementación de extensión. Tras analizar la situación actual y conocer los diferentes métodos de tratamiento existentes para el manejo de los purines en las granjas, se decidió utilizar métodos de eliminación adecuados y una prueba piloto con un prototipo de un biodigestor a base de estiércol de cerdo generados en la explotación de estas granjas y utilizados de forma inadecuada.

## JUSTIFICACIÓN

El proyecto tiene como objetivo el diseño de un biodigestor a gas con estiércol porcino, minimizando el impacto negativo en la producción porcina debido a hedores, parásitos, dolencias estomacales por fuentes contaminadas y el descontento de los vecinos con los desechos que no cumplen con las normas gubernamentales, además, estos desechos podrán ser aprovechados en la producción de energía renovable.

Resolver parcialmente los problemas relacionados con el uso inadecuado de los desechos generados por cerdos al evitar la descarga directa, la contaminación y la malignidad del estiércol a las fuentes de gas, a través del manejo racional del estiércol. Este proyecto es importante porque está destinado a la eliminación de olores y plagas, con esto, se espera que la crianza de cerdos sea sostenible respecto al medio ambiente.

Si se continúa con el tratamiento tradicional del estiércol de los cerdos en esta vereda, se puede aumentar la degradación significativa del medio ambiente, que en este caso se ha convertido en un factor principal de contaminación de los suelos, afectando en gran manera a las familias de la vereda Juracambita en el municipio de Zetaquirá.

Además, las estrategias de tratamiento del estiércol porcino se basan en procesos físicos, químicos y/o biológicos capaces de reducir y convertir la contaminación del estiércol en subproductos valiosos como el biometano (es decir, calor, electricidad y gas natural), fertilizantes orgánicos y créditos de carbono (reducciones de emisiones certificadas), los beneficios económicos resultantes pueden utilizarse localmente (reduciendo los costos operativos) o venderse (aumentando los ingresos).

Por ello, este estudio se realizará ya que el diseño y la gestión de las instalaciones bioambientales pueden generar gases inflamables (biogás) que se utilizan para cocinar, calentar lechones y aves. También reduciendo los olores desagradables [39].

Además de mejorar la salud y la ecología en las zonas rurales, se reduce el uso de fertilizantes artificiales costosos y contaminantes, se reducen los riesgos para la

salud, sus costos de recolección son relativamente bajos y restauran rápidamente la inversión vendiendo o utilizando clientes de insuficiencia, por lo tanto, la cría de cerdos, la mejora en la gestión y el uso de sistemas bioambientales ayudan a ahorrar dinero y contribuyen a la limpieza y el bienestar del medio ambiente.

Por esa razón, este proyecto tiene como objetivo diseñar un biodigestor a gas, el cual busca cambiar la visión de la gestión de la producción de estiércol porcino en el municipio de Zetaquirá, que produce cerdos de forma tradicional, las alternativas a las operaciones hechas por el hombre desarrolladas en esta área se llevan a cabo de manera precisa y sostenible.

Luego, las veredas reimportan materia orgánica producida como gas y se usa para cocinar alimentos en casa, los beneficios obtenidos ayudarán a otras veredas a llevar a cabo este proyecto y así reducir significativamente la contaminación provocada por los cerdos.

Por eso, el presente trabajo de tesis buscará desarrollar alternativas de solución para mejorar la calidad de vida de los agricultores, prácticas ambientales que permitan reducir el costo del manejo del cultivo y evitar enfermedades (insectos y roedores) y contaminación (por olores desagradables). Por medio del diseño de un biodigestor para el aprovechamiento del estiércol producido por los cerdos sin procesar.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un biodigestor de gas a partir de excremento porcino, para su aprovechamiento energético, en hogares de la vereda Juracambita del municipio de Zetaquirá.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar la disponibilidad de recursos orgánicos en la vereda Juracambita para uso energético en biodigestores.
- Diseñar en nivel de detalle los elementos necesarios que componen un biodigestor.
- Realizar un estudio económico que permita el análisis de la viabilidad del proyecto a la hora de su implementación.

## **CAPÍTULO 2. MARCO REFERENCIAL**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 BIODIGESTOR**

Es un envase sellado de cualquier forma, tamaño y material, donde los desechos orgánicos se mezclan con el agua, se descomponen sin acceso al aire, producen biogás, este diseño de la planta basado en variables de proceso, ambientales y de uso del sistema, puede variar entre sus formas, sugiere que se utilicen tanques cilíndricos, rectangulares, esféricos o semiesféricos, según la preferencia del usuario y su fabricabilidad [52].

Sin embargo, desde un punto de vista físico y tecnológico, no se recomienda el uso de tanques rectangulares: requieren más materiales de construcción y crean zonas de diferente composición y temperatura dentro del bloque de fermentación, lo que imposibilita que el sistema obtenga mayores beneficios.

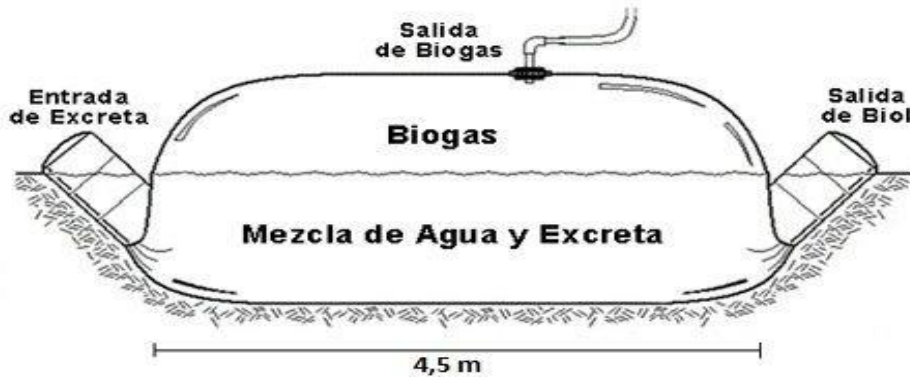
##### **2.1.1 tipos de biodigestores**

La aparición de tipos de construcción de biogás describe tres principales: construcción cilíndrica, construcción de cúpula fija y construcción de tambor flotante, El procesamiento de este biodigestor es continuo, ya que por uno de sus extremos ingresa un sustrato el cual ingresa a una cámara de biodigestión, donde se aloja hasta tener un tiempo de retención necesario para la producción de gas, finalmente, por el otro extremo del biodigestor saldrá materia rica en nutrientes que servirán como fertilizante.

###### **2.1.1.1 Plantas de suelo**

Los dispositivos de este tipo cuentan con una cámara de fermentación en la parte superior, en la cual se almacena el gas, la entrada y salida se encuentran en la misma superficie de la bolsa. Sus ventajas son bajo costo, fácil transporte, estructura sin complicaciones, alta temperatura de descomposición, fácil limpieza, mantenimiento y vaciado. Sus desventajas son una vida útil corta, una alta vulnerabilidad, una baja creación de empleo y, por lo tanto, un potencial de autoayuda limitado.

Figura 2-1. Plantas de suelo uno

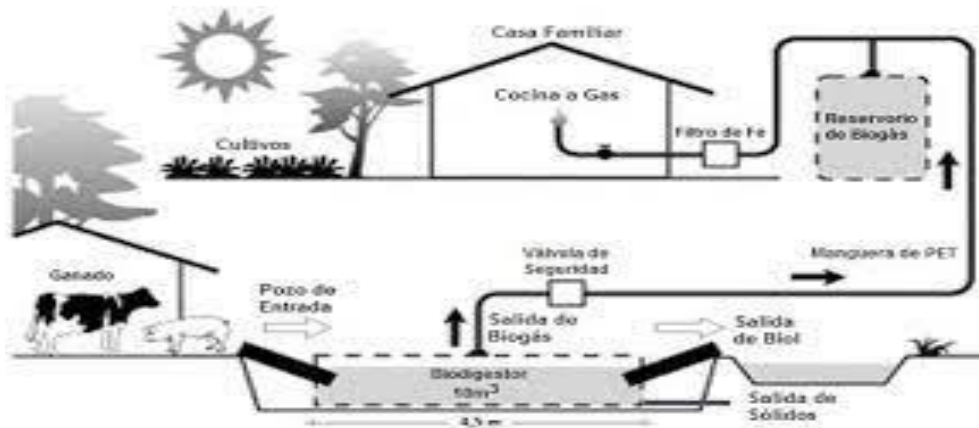


Fuente: (Guardo, 2007)

### Mantenimiento

Estos biorreactores pueden tener una vida útil de 20 años, en caso de falla pueden repararse fácilmente con el mismo material del biorreactor utilizando un reactivo firmemente adherido; la parte reparada debe secarse hasta curarse por completo. Se aplica una pequeña presión a la bolsa de almacenamiento, que transportará el biogás a donde se necesite.

Figura 2-2. Plantas de suelo dos.



Fuente:(Friedrich, 2012)

### Ventajas del biorreactor de plástico barato

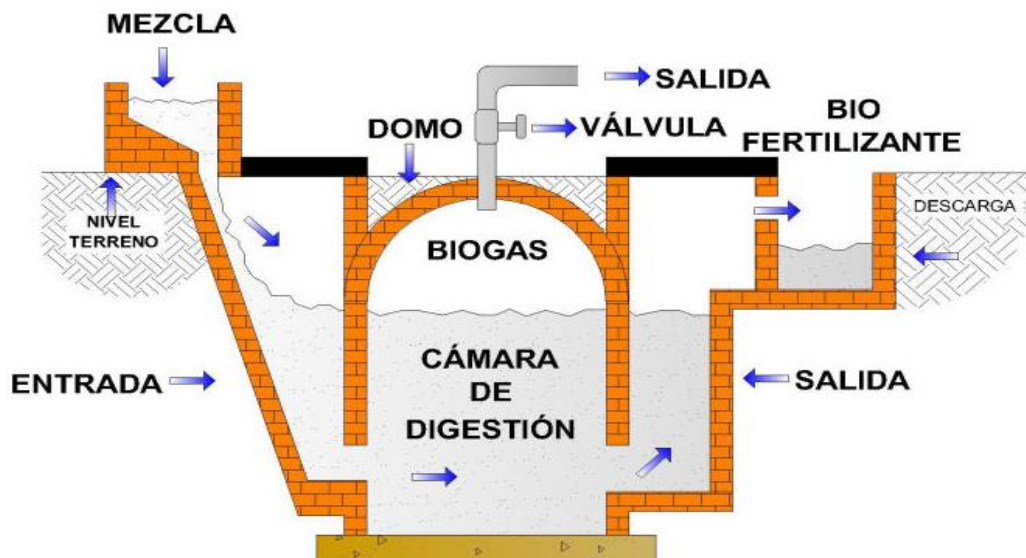
I.-Este tipo de cámara de fermentación es muy económica y fácil de transportar por su poco peso, especialmente en lugares de difícil acceso.

II.- Por estrechez, debe reducirse la pérdida.

### 2.1.1.2 Plantas de domo fijo

La unidad de domo fijo consta de un tanque de gas estacionario y otro estacionario colocado encima de la cámara de fermentación. Cuando comienza la formación de gas, la mezcla entra en el vaso de expansión, a medida que aumenta la presión del gas aumenta el volumen del gas de reserva, y con la diferencia de altura entre el nivel de la mezcla en el fermentador y el nivel de la mezcla en el vaso de expansión.

Figura 2-3. Plantas de domo fijo.



Fuente: (Gonzalez, 2015)

La ventaja de este biodigestor es un costo de construcción relativamente bajo y una larga vida útil, la construcción subterránea ahorra espacio y protege la cámara de fermentación de las fluctuaciones de temperatura; además, su construcción está asociada a la creación de fuentes de empleo [53].

La principal desventaja es el problema frecuente con la permeabilidad al aire de los tanques de almacenamiento de ladrillos de gas (una pequeña grieta en el depósito superior puede causar una gran pérdida de biogás) [54.]

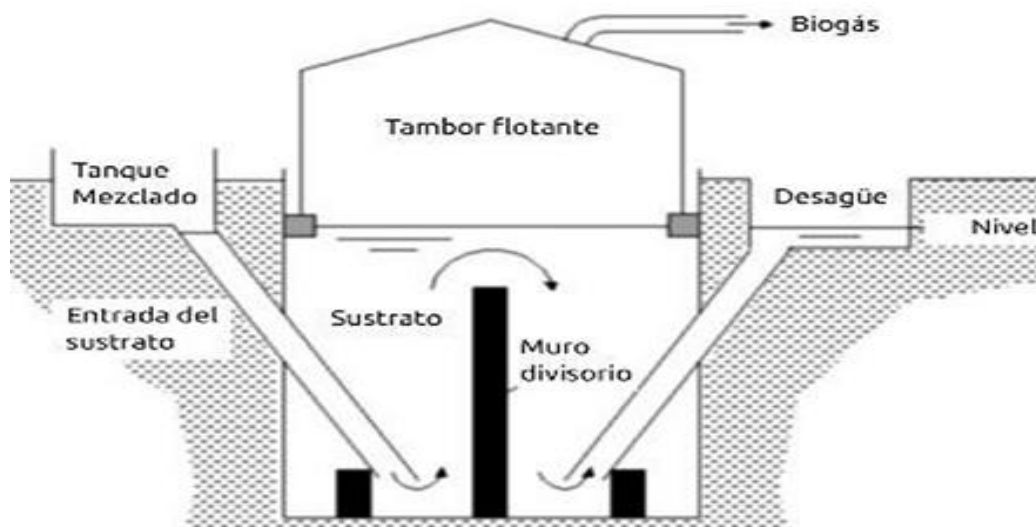


Por lo tanto, la instalación de un domo permanente solo se recomienda si profesionales experimentados en ingeniería de biogás supervisan el sitio, la presión del gas fluctúa significativamente dependiendo del volumen de gas almacenado.

### 2.1.1.3 Planta de tambor flotante (estilo indio)

Consiste en una cámara de fermentación subterránea y un tanque de aireación móvil, el tanque de aireación se eleva directamente sobre la mezcla de fermentación o en la camisa de agua, el gas se recolecta en el tambor de aire que se eleva o baja dependiendo de la cantidad de gas almacenado.

**Figura 2-4.** Planta estilo indio.



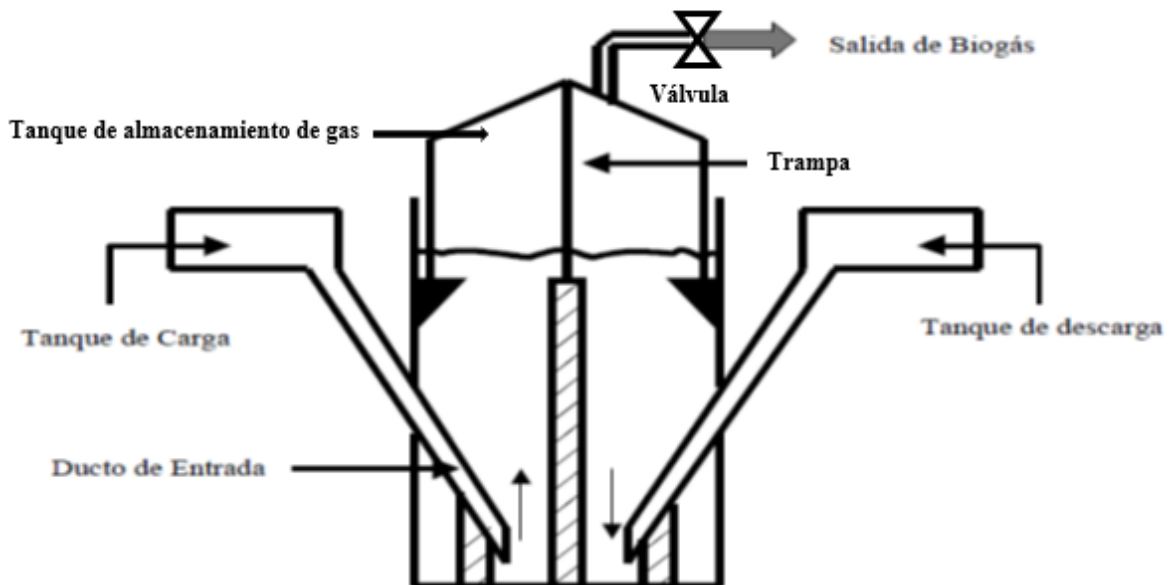
Fuente: (Valadez, 2020)

Sus ventajas son una operación simple y clara: el volumen de gas de reserva se puede ver de inmediato, la presión del gas es constante, determinada por el peso del tanque de gas, la estructura es relativamente simple; los defectos de diseño no provocan problemas graves en la operación y producción de gas.

Su desventaja es que el costo del material es alto para el tambor de acero, y que es fácil de corroer las piezas de acero, por lo que la vida útil de la instalación es más corta; además, existen costos fijos de mantenimiento asociados con la pintura del tambor.

## 2.1.2 Partes de un biodigestor

Figura 2-5 Biodigestor tipo hindú.



### 2.1.2.1 Tanque de descarga

Es el canal por donde se vierten al exterior los lodos residuales de la digestión anaerobia y está fabricado con el mismo material que el tanque de carga. La descarga se realiza conectando recipientes: cuando se carga el fermentador, la presión del material entrante empuja una cantidad del material procesado (o usado) a través de la tubería de descarga.

### 2.1.2.2 Tanque de almacenamiento de gas

Para el tanque de fermentación de cúpula fija y flotante, el tanque de almacenamiento es una estructura de ladrillo redonda o cuadrada con cemento pulido en el interior, y para el tanque de fermentación de bola, es una bolsa de plástico anticorrosión y ambientes invasivos.

El gas producido por la cámara de fermentación se almacena para estar en cantidad suficiente en el momento adecuado, utilizando cualquier tanque cerrado. En algunos tipos de cámaras de fermentación, el caldo se ubica directamente sobre el cuello de

la botella, en estos casos se utilizan tapas metálicas flotantes que permiten suministrar el gas a presión constante.

Línea de conducción. En el cable para instalación general, su tamaño depende de:

- a) Flujo de aire
- b) Distancia entre la fábrica y el lugar de uso.

Vale la pena señalar que las tuberías de PVC casi siempre se usan en instalaciones de biogás, porque el material no se ve afectado por el sulfuro de hidrógeno. Por ello, las tuberías de PVC deben enterrarse o cubrirse para evitar daños por la luz solar (cristalización). De lo contrario, se colocará por encima de la cabeza para evitar daños físicos causados por humanos o animales.

### **2.1.2.3 Válvulas**

Para biogás se utiliza un mínimo de dos válvulas, la primera o principal se instalará al inicio del cableado y a la salida. El segundo se monta al final de la línea, en el punto de uso. Estas válvulas, de acuerdo con el diámetro de la tubería, deben ser de acero inoxidable o PVC para evitar la corrosión por sulfuro de hidrógeno.

### **2.1.2.4 Trampa**

El gas debe ser filtrado antes de su uso, tratamiento, limitado a calentamiento, iluminación o cocción, con el fin de eliminar o reducir el contenido de sulfuro de hidrógeno para proteger el equipo de la corrosión y también para reducir el contenido de agua del gas resultante del proceso de calentamiento.

### **2.1.2.5 Trampa de sulfuro de hidrógeno**

Consiste en un recipiente lleno de material de hierro fino que forma una capa porosa por la cual debe circular el gas, para reaccionar con el metal y depositarlo en esta capa. El estado poroso se consigue utilizando virutas de hierro o esponjas industriales de cocina como relleno.

Las ventajas de estos materiales son su bajo costo y baja resistencia al flujo de aire, aspecto importante debido a las bajas presiones a las que opera este tipo de sistemas. La forma del recipiente y las características del material del que está

hecho dependen de las preferencias del propietario de la planta, el único requisito es que estén completamente sellados para evitar fugas de gas.

#### **2.1.2.6 PVC tubular**

También se fabrican con tubería estándar o se ensamblan con accesorios de PVC (Y) disponibles en el mercado, no requieren pintura protectora, pero no deben exponerse a la luz solar en lo posible. La trampa de sulfuro de hidrógeno también funciona como un retardador de llama, no solo debido a la presencia del relleno, sino también porque el diámetro del contenedor es mayor que el del conducto.

#### **2.1.2.7 Trampa de agua**

El agua transportada en el ducto se separa cuando se libera repentinamente una corriente eléctrica y luego se encoge en su camino. Para lograr este objetivo, simplemente se instala un accesorio en el cable que se asemeje a una trampa de sulfuro de hidrógeno, con la diferencia de que no necesita llenarse con material ferroso, las trampas están equipadas con una válvula de drenaje; para permitir el paso del agua, se debe doblar en la parte inferior.

### **2.1.3 Ventajas y desventajas de los biodigestores**

#### **2.1.3.1 Ventajas**

- a) Permite reducir la deforestación porque no hay necesidad de usar leña para cocinar.
- b) Humaniza el trabajo de los agricultores que deben buscar leña en lugares cada vez más remotos.
- c) Diferentes usos (iluminación, cocina, generación de energía, tráfico rodado, etc.).
- d) Permite producir biofertilizantes ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, que puedan competir con fertilizantes químicos más costosos y dañinos para el medio ambiente.
- e) Elimina desechos orgánicos como estiércol animal, contaminantes ambientales y fuentes de enfermedades para humanos y animales.

El uso de la biofermentación, además de la producción de biogás, ofrece grandes beneficios en el tratamiento de residuos:

I) Mejora la capacidad fertilizante del estiércol. Todos los nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y oligoelementos se retienen en las aguas residuales; en cuanto al nitrógeno, la mayor parte, presente como macromoléculas en el estiércol, se convierte en formas más simples, como el amonio ( $\text{NH}_4$ ), que las plantas pueden utilizar directamente.

II) El agua residual tiene un olor mucho más ligero que el agua entrante.

III) Control de patógenos. Aunque el grado de eliminación de patógenos variará con factores como la temperatura y el tiempo de almacenamiento, se ha demostrado que aproximadamente el 85% de los patógenos no sobreviven a la fermentación biológica. En condiciones de laboratorio a  $35^\circ\text{C}$ , en 24 horas, el número de bacterias coliformes en las heces se reduce en un 50-70% y el número de hongos en un 95%.

### **2.1.3.2 Desventajas técnicas de los biodigestores**

La construcción de biorreactores presenta varias dificultades técnicas:

a) Las instalaciones de producción de cerveza deben estar ubicadas cerca del lugar donde se toma el sustrato primario y donde se consume el sustrato.

b) Se debe mantener una temperatura constante de unos  $35^\circ\text{C}$ , lo cual puede hacer que el proceso de pedido sea más costoso en climas fríos.

c) Es posible que se forme  $\text{SH}_2$  como un subproducto tóxico y corrosivo según el sustrato de partida, y la presencia o ausencia de bacterias sulfato reductor. La presencia de  $\text{SH}_2$  hace que se produzca menos  $\text{CH}_4$ , reduce la capacidad calorífica del biogás y encarece el proceso por la necesidad de tener que limpiarlo.

d) Se debe recoger los residuos orgánicos cerca del biorreactor.

e) Hay riesgo de explosión si no se observan las normas de seguridad para gases inflamables.

### **2.1.4 Planificación de un biodigestor**

Los siguientes aspectos deben ser considerados al diseñar y planificar un biorreactor:

A continuación, se describe el procedimiento para la construcción de un biorreactor de domo fijo, ya que se considera el más seguro y fácil de construir, será de forma circular por sus propiedades, permitiendo aprovechar mejor la biomasa sin estancamiento en ningún ángulo. Además, es una construcción, no una cúpula, porque requiere un estudio detallado.

#### **2.1.4.1 Factores humanos**

- a) Intolerancia de las personas
- b) La necesidad puede ser de salud, de energía y de abono.
- c) Recursos económicos disponibles, materiales de construcción, mano de obra, uso de productos, espacio disponible.
- d) Disponibilidad de materias primas, en caso de que haya residuos agrícolas, animales domésticos, municipales e industriales.

#### **2.1.4.2 Factores biológicos**

- a) Enfermedades y animales nocivos para el hombre, los animales domésticos y el ganado.

#### **2.1.4.3 Elementos físicos**

- a) Ubicación, si se encuentra en una zona urbana, rural o suburbana y aspectos geográficos como latitud, longitud y altitud.
- b) Los aspectos climáticos incluyen las temperaturas máximas y mínimas, las precipitaciones, la humedad ambiental, la intensidad de la radiación solar y la fuerza y dirección del viento.
- c) Vías de acceso.
- d) El apoyo tiene en cuenta la pendiente del terreno: plano, ondulado o fallado.
- e) Suelos con características tales como distribución granulométrica, estructura, nivel freático y capacidades agronómicas.

Los combustibles sólidos como la madera, residuos agrícolas, estiércol de cerdo y otros, se han convertido en una oportunidad de generación de gas combustible, Los principales componentes inflamables del gas resultante son: Monóxido de carbono (CO), Hidrógeno (H<sub>2</sub>) y Metano (CH<sub>4</sub>). Es una cadena de reacciones químicas exotérmicas que involucran combustible y un oxidante que produce calor y llama incandescente. El oxígeno debe estar presente en caso de combustión, pero en el caso del estiércol de cerdo, la mayor parte de la biomasa pasa por proceso de combustión para producir energía, pero de una manera muy ineficiente.

Un grupo electrógeno motor de combustión, podría utilizar este gas como combustible para producir electricidad. [55]

## **CAPÍTULO 3. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

Teniendo en cuenta el desarrollo de la metodología aplicada para este proyecto, se considera que es una investigación de carácter cuantitativo, ya que es un método sistemático y empírico, que involucra el análisis de información cuantitativo, en la integración y discusión general de los datos que corresponde a un método de investigación para sacar conclusiones de toda la información recopilada y búsquedas principales (conocidas como referencias compartidas) y así obtener una mejor comprensión del fenómeno en estudio.

Para el desarrollo de este proyecto se tuvo en cuenta las deficiencias de los ganaderos en el manejo adecuado de estiércol porcino. Para un análisis comparativo de la producción de gas natural a partir de la descomposición de materiales de origen animal, como el estiércol de cerdo, se realizará una investigación documental que contribuya al análisis, para lo cual se consultaron bases de datos de bibliotecas universitarias y otras fuentes web.

El presente proyecto se desarrolló en 3 etapas:

#### **3.1 PRIMERA ETAPA**

Consulta de antecedentes: Revisión bibliográfica de precedentes para un análisis de los efectos que tiene el diseño de un biodigestor a partir de materiales de origen animal, como el estiércol de cerdo.

En esta etapa se realizará una revisión de antecedentes bibliográficos por medio de las siguientes bases de datos académicas: SciELO, Dialnet, Google Scholar (Google Académico), Scholarpedia, Academia.edu y Springer Link. Para determinar qué estudios se han realizado anteriormente respecto a los efectos que puede llegar a tener un biodigestor de gas natural a partir de los desechos orgánicos de los cerdos.

#### **3.2 SEGUNDA ETAPA**

Establecer elementos: Se establecerá cuáles serán los elementos necesarios para el diseño de un biodigestor de gas por medio de la indagación bibliométrica.



En esta etapa se establece por medio de una revisión bibliográfica los componentes que se necesitan para el diseño de un modelo de biodigestor que funcione para el procesamiento y transformación de los materiales orgánicos como lo son el estiércol porcino.

### **3.3 TERCERA ETAPA**

Verificar su función: Determinar la viabilidad de la funcionalidad por medio del diseño de un biodigestor.

En esta etapa se verificará que el diseño cumpla con la funcionalidad para la cual es diseñado, de no serlo así entonces se debe realizar el ajuste del mismo para que pueda ser viable para la función establecida. Para el desarrollo de este proyecto se tendrá en cuenta las deficiencias de los ganaderos en el manejo adecuado de estiércol porcino.

### **3.4 CUARTA ETAPA**

Con el fin de obtener un análisis comparativo de la producción de gas se realizará una investigación documental que contribuya al análisis, para lo cual se consultaron bases de datos de bibliotecas universitarias y otras fuentes web.

### **3.5 QUINTA ETAPA**

Finalmente, se analizarán los resultados teóricos en cuanto a los costos que se requieren para el diseño de un biodigestor y el nivel de eficacia que se puede obtener, bajo las condiciones deseadas, teniendo en cuenta las ventajas y desventajas del estudio.

Para la explotación y diversificación de los usos del biogás se tiene en cuenta que se puede mejorar la eficiencia económica de la vereda Juracambita lo cual podría convertirse en una fuente de energía, ya sea para cocinar o generar electricidad, usada así, como una fuente confiable de ingresos financieros, en nuestro país se han registrado más de 450 biodigestores domiciliarios de cúpula fija.

A continuación, se presentará una recopilación de antecedentes y descripción del proceso mediante el cual se ejecutará el diseño de un biodigestor, sustentando

mediante cálculos la ejecución del mismo y determinando la viabilidad del presente proyecto.

## CAPÍTULO 4. DISEÑO DE BIODIGESTOR

### 4.1 ANTECEDENTES

La cría intensiva de cerdos produce una cantidad significativa de estiércol y la eventual eliminación del estiércol es un problema ambiental grave. La aplicación descontrolada de estiércol porcino al suelo puede provocar, exceso de nitratos (N<sup>o</sup> 3), sales, metales pesados (cobre y zinc), patógenos, compuestos xenobióticos y emisiones de gases de efecto invernadero [37].

El crecimiento de la cría de cerdos domésticos y el desarrollo de la tecnología en el sistema productivo ha provocado un aumento de la producción de residuos, que muchas veces acaban en los ríos. Debido a la aplicación de un sistema cerrado de cría de cerdos, se generan grandes cantidades de residuos [20]

En España, una planta de biogás (Real Decreto RD 661/2007) con una capacidad de 500 kWh de electricidad tiene un coste de inversión de 1,5 a 2,3 millones de euros, y los ingresos por ventas de electricidad rondan los 550.000 euros (8.000 horas de funcionamiento). Además, puede haber ingresos adicionales por la venta de calor y algunos residuos industriales [7]

Hay enormes granjas avícolas en Beijing, que producen 212 toneladas de estiércol por día, el hedor es distintivo y fuerte. Pero esta enorme cantidad de estiércol, una vez recolectada, se enviará a una planta de tratamiento para separar el metano del fertilizante para producir electricidad para vender a la red nacional [6]

La planta de energía de biogás más grande de Dinamarca es LemvigBiogas, que genera calor y electricidad a partir de los lodos de unas 75 granjas, así como desechos y desechos industriales, con más de 21 millones de kWh de electricidad generados anualmente a partir del biogás producido. vendido a la red de área local [9]

Cuando el estiércol se utiliza con fines agronómicos, puede tener diferentes efectos sobre el suelo y los cultivos según el sistema de gestión. Es una valiosa fuente de nitrógeno (N), que puede reemplazar total o parcialmente a los fertilizantes minerales [9].

La cantidad de metano emitido en función del tipo de gestión de residuos depende de tres factores: el tipo de tratamiento o almacenamiento, las condiciones ambientales y la composición de los lodos. Las estructuras líquidas producen mayores emisiones de metano que otras estructuras [22].

La producción de metano también depende del tipo de estiércol aplicado, para el estiércol porcino se utiliza un sistema de manejo de líquidos, que incluye estanques de acidificación, tanques de almacenamiento y pozos profundos [17].

La escasez de energía eléctrica en las zonas rurales a nivel regional es un factor clave para crear nuevas alternativas de generación eléctrica que puedan atender este aumento de la demanda. Los altos precios de los combustibles y los altos precios de la electricidad local son factores fundamentales en el desarrollo de las instalaciones de biogás a nivel nacional y regional, generando energía a partir del aprovechamiento de residuos agrícolas [35].

Por otro lado, el biogás es una mezcla de varios gases producidos a partir de la descomposición anaeróbica de materia orgánica como estiércol y desechos orgánicos, es el primer hidrocarburo de los alcanos y es un gas de efecto invernadero una mezcla de  $\text{CH}_4$  y aire es inflamable y arde con una llama azul [9].

Este combustible tiene un alto poder calorífico que oscila entre 4.700 y 5.500 kcal/m<sup>3</sup> y se puede utilizar para cocinar, alumbrado doméstico y motores de combustión interna que alimentan máquinas herramienta, molinos de cereales, generadores, electrobombas, bombas de agua y maquinaria agrícola. vehículos u otro tipo [50]

Para [30], las investigaciones muestran que los cerdos producen 4 kg de estiércol fresco/día/cabeza, por lo que cada cerdo es capaz de generar 0,33 m<sup>3</sup> de biogás útil al día. Hay tres opciones para el uso de biocombustibles.

- Generación de energía: la conversión de la energía contenida en el biogás se realiza con la ayuda de un motor generador alimentado por biogás. La electricidad generada puede alimentar granjas o venderse a la red pública.

- Uso directo como gas: el biogás también se puede usar directamente en vehículos y máquinas diseñadas para quemar gas en lugar de gasolina.

- Solución mixta: Se puede optar por una solución mixta, utilizando parte del biogás para producir electricidad y el resto directamente, la descomposición de la materia orgánica en la fermentación anaeróbica se divide en tres etapas: hidrólisis, producción de ácido y producción de metanol.

En cada etapa de la digestión anaeróbica, diferentes bacterias trabajan para convertir la materia orgánica en diferentes compuestos, como azúcares y ácidos grasos, para producir el producto final, el metano. La digestión anaeróbica convierte compuestos complejos en compuestos simples, lo que eventualmente resulta en la liberación de una mezcla gaseosa [42].

El primer paso es la hidrólisis de moléculas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos, lípidos) que son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por microorganismos acidogénicos o enzimáticos, el paso de hidrólisis puede ser un proceso común de limitación de la velocidad, especialmente en el tratamiento de desechos con alto contenido de sólidos, la hidrólisis depende de la temperatura, el tiempo de retención hidráulica, la composición bioquímica del sustrato, el nivel de pH y la concentración de metano [19].

En el segundo paso, controlado por bacterias, los compuestos obtenidos en el primer paso se convierten en otros compuestos de peso molecular medio; tales como dióxido de carbono, hidrógeno, ácidos, alcoholes grasos, metilamina, amoníaco y sulfuro de hidrógeno [45].

En la metanogénesis, esta es la parte final donde la producción de metano, el producto final de la degradación anaeróbica, se limita a solo tres precursores: CO<sub>2</sub>, un compuesto que contiene un grupo metilo y un acetato. Todos los metanógenos son anaerobios sensibles al oxígeno. Cuando la metanogénesis está mediada por CO<sub>2</sub> como precursor, se denomina hidrogenotrófica o hidrófila y se utiliza H<sub>2</sub> como donante primario de electrones [51].

El biorreactor es una cámara sellada e impermeable en la que se depositan residuos orgánicos (heces o materia vegetal) y agua cruda durante unos 35-45 días, durante los cuales la bioquímica y las bacterias activas se producen de forma simultánea y gradual, todo ello en condiciones ambientales y químicas favorables, durante la descomposición de la materia orgánica, que luego se utiliza como combustible.

El mismo autor, concluye explicando que los biorreactores pueden ser de cemento, plástico, dependiendo de los recursos económicos y pueden disponerse de acuerdo a los requerimientos y fines de uso del terreno en el que se ubica.

Otra línea de tecnología es un biorreactor anaeróbico en sistema, que utiliza la fermentación bacteriana de materia orgánica en ausencia de oxígeno para convertirla y producir biogás y fertilizantes, llamado biol, en un líquido estable rico en nutrientes [45].

Fabricado en China, el biorreactor de cúpula fija tiene forma de esfera y el gas se almacena en una capa delgada bajo presión variable, lo que se logra al forzar el líquido de inmersión en una cámara llamada inyector hidráulico; los materiales de construcción son bloques y/o ladrillos, cemento y acero, estas excavadoras se cargan de forma semi-continua, siendo la primera carga de celulosa y estiércol [28].

Los biorreactores tubulares de plástico incluyen varios tipos de bolsas de polietileno estirable con una relación de largo a ancho de aproximadamente 5,1, aunque las dimensiones pueden variar debido al rendimiento del diseño; indica que la bolsa está colocada hacia abajo, este biorreactor es más económico que el anterior, pero tiene una vida útil más corta [9].

## **4.2 NORMATIVA**

A continuación, se presenta la legislación vigente correspondiente al marco regulatorio de fuentes alternativas de energía, producción de biogás y adopción de producción más limpia. La Tabla 5 presenta las disposiciones legales aplicables al estudio con una breve descripción y referencias correspondientes. Los derechos, la política, las resoluciones y los decretos se organizan en orden cronológico de la más antigua a la final, como se menciona a continuación:

**La Ley 99 de 1993** creó el Departamento del Medio Ambiente, reorganizando el sector público para administrar y proteger el medio ambiente y los recursos naturales renovables [11].

**Política nacional de producción más limpia 1997:** Programa de producción más limpia del Ministerio del Medio Ambiente [31].

**Ley 697 de 2001:** Prácticas para el uso justo y eficiente de la energía eléctrica. Se reivindica el uso racional y eficiente de la energía y se crea un programa para promover energías únicas [12].

**Decreto 2501 2007:** Por el cual se promulga legislación para promover el uso racional y eficiente de la energía eléctrica [32].

**Resolución 909 de 2008:** Reglamento sobre normas de emisión para fuentes fijas [31]

**Resolución 1675 de 2013:** Por donde se regula el uso continuado de plaguicidas [31]

**Ley 1715 de 2014:** Integración de las Fuentes Únicas de Energía Renovable Reguladas [13].

**Reglamento 631 de 2015:** Reglamento sobre descarga de residuos a fuentes de agua [31]

**Resolución 1283 de 2016:** en la que se establecen el proceso y los requisitos para emitir certificados de apoyo ambiental para nuevas inversiones en fuentes de energía renovables innecesarias [31].

Al respecto, cabe recalcar que Colombia actualmente cuenta con regulaciones muy claras sobre el uso y consumo de fuentes alternativas de gas natural en el país, así como incentivos económicos y requisitos técnicos para el gas renovable en cantidad. Sin embargo, para el uso de biomasa para fuentes de gas alternativas, este es un problema menor en el ámbito legal y regulatorio.

Desarrollo de objetivo No. 1: Estudiar la disponibilidad de la utilización de recursos orgánicos en el planeta, mediante la consulta de antecedentes y la normatividad vigente para el diseño de un biodigestor.

### 4.3 PRODUCCIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

**Tabla 4-1.** Características del estiércol en algunos animales

Clase de animal	% de peso vivo		% del material de digestión		Relación C/N	P - Producción de biogás (m3 de gas / 1 kg SO)
	PE- Estiércol	PO-Orina	% EST sólidos	% SO sólidos orgánicos		
Vacunos	5	4	15 -16	13	20	0,250
Cerdos	2	3	16	12	13	0,350
Caprinos, ovejas	3	1,5	30	20	30	0.200
Caballos	5	4	25	15	20	0,250
Avícolas, gallinas	4,5	4,5	25	17	5-8	0.400
Humanos	1	2	20	15	8	0.300

Fuente: unidad de planeación minero energética - UPME, guía de implementación de sistemas de biogás (2003)

#### 4.3.1 Cálculo de estiércol

En primer lugar, se debe calcular el peso vivo promedio por animal y a partir de la ecuación 1 se calcula la producción de estiércol generada por los cerdos.

Cabe resaltar que al momento de la realización de este trabajo la finca contaba con seis hembras y 30 lechones para un total de 36 animales, no se cuenta con cerdos machos ya que se realiza inseminación, así mismo es importante mencionar que el periodo de gestación de las hembras es aproximadamente de tres meses y tres días.

**Tabla 4-2.** Peso vivo promedio por animal (PVP)

PVP	
Animales	Peso kg
Hembras	172,5
Lechones	20
<b>Peso promedio</b>	<b>96,25</b>

Fuente: elaboración propia



A continuación, se realiza el cálculo del estiércol, en este trabajo este cálculo se realizó con base en el peso vivo promedio por animal.

$$E = NA * PVP * \frac{PE}{100} \quad (1)$$

Donde:

- E = Estiércol en kilogramos por día
- NA = Número de animales
- PVP = Peso vivo promedio por animal
- PE = Producción de estiércol por animal por día en porcentaje de peso vivo.  
(el dato de esta variable se obtiene de la tabla 1)

$$E = 36 * 96,25 \text{ kg} * \frac{2}{100}$$

$$E = 69,30 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Reemplazando las variables en la ecuación 1, se obtiene que la producción de estiércol es de  $69,30 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$ .

#### 4.3.2 Cálculo de orina

Se debe considerar la producción de orina, puesto que las marraneras son cubiertas con piso de concreto.

$$O = NA * PVP * \frac{PO}{100} \quad (2)$$

Donde:

- O = Orina día en kilogramo (se asume que el peso de 1 litro de orina es igual a 1 kg)
- NA = Número de animales
- PVP = Peso vivo promedio por animal

P0 = Producción de orina por animal por día en porcentaje de peso vivo. (el dato de esta variable se obtiene de la tabla 1), de igual manera se asume que el peso de 1 litro de orina es igual a 1 kg.

$$O = 36 * 96,25 \text{ kg} * \frac{3}{100}$$

$$O = 103,95 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Sustituyendo las variables en la ecuación 2, se obtiene que la producción de orina es de  $103,95 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$ .

#### 4.3.3 Cálculo de la materia prima para la carga del biodigestor

A partir de la ecuación 3 y con los valores obtenidos de la producción de estiércol y de orinal generados por los cerdos, se calcula la materia prima para carga.

$$MPC = E + O \quad (3)$$

Donde:

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día

E = Estiércol en kilogramos por día

O = Orina día en kilogramo

$$MPC = 69,3 \frac{\text{kg}}{\text{día}} + 103,95 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$MPC = 173,25 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Reemplazando las variables en la ecuación 3, se obtiene que la materia prima para la carga corresponde a  $173,25 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$ .

#### 4.3.4 Cálculo del porcentaje de sólidos contenidos en carga

A partir de la ecuación 4, se determina el porcentaje de sólidos totales.

$$\%ST = \frac{E * \%EST}{MPC} \quad (4)$$

Donde:

$\%ST$  = Porcentaje de sólidos totales incluidos en la materia prima para la carga

$MPC$  = Materia prima para la carga expresado en kilogramos por día

$\%EST$  = Porcentaje de sólidos en el estiércol (el dato de esta variable se obtiene de la tabla 1)

$E$  = Estiércol en kilogramos por día

$$\%ST = \frac{69,3 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0,16}{173,25 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}$$

$$\%ST = 0,064$$

$$\%ST = 6,4\%$$

Sustituyendo las variables en la ecuación 4, se obtiene que el porcentaje de sólidos contenidos en la carga es de 6,4 %.

#### 4.3.4 Cálculo de sólidos contenidos en la carga

A través de la ecuación 5 se determina la cantidad de sólidos totales que contiene la carga que ingresa al biodigestor.

$$ST = \frac{\%ST * MPC}{100} \quad (5)$$

Donde:

$ST$  = Cantidad de sólidos contenidos en la materia prima de carga, esta debe estar expresada en kilogramos por día.

$\%ST$  = Porcentaje de sólidos totales incluidos en la materia prima para la carga, este valor debe ser menor al 10%

$MPC$  = Materia prima para la carga expresado en kilogramos por día

$$ST = \frac{6,4\% * 173,25 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{100}$$

$$ST = 0,11 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Reemplazando las variables en la ecuación 5, se obtiene que el contenido de sólidos incluidos en la carga o materia prima corresponde a  $0,11 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$ .

#### 4.3.5 Cálculo masa de agua requerida para la mezcla

Considerando que el porcentaje calculado de sólidos contenidos en la mezcla es (6,4 %) y este valor es inferior al 10% de los sólidos totales no es necesario calcular la masa de agua requerida para la mezcla [46].

#### 4.3.6 Cálculo de la carga que ingresa al biodigestor

A partir de la ecuación 6, se obtiene la cantidad de materia prima o biomasa que ingresa al biodigestor.

$$C = MPC + MH_2O \tag{6}$$

Donde:

C = Carga diaria para alimentar el digestor expresada en kg/día

MPC = Materia prima para la carga expresado en kg/día

MH<sub>2</sub>O = Masa de agua para la mezcla

Como se mencionó anteriormente la masa de agua no se calculó, ya que los sólidos totales no eran mayores al 10%, por esta razón el valor de la carga (C) corresponde únicamente al valor de la materia prima para la carga (MPC).

$$C = 173,25 \frac{\text{kg}}{\text{día}} + 0$$

$$C = 173,25 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Sustituyendo las variables en la ecuación 6, se obtiene que la carga diaria requerida para la alimentación del biodigestor es de  $173,25 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$ .

#### 4.3.7 Cálculo tiempo de retención

El tiempo de retención se calcula con base en la temperatura del lugar donde se realizó el proyecto, en este caso la temperatura promedio en el municipio de Zetaquirá es de 20°C.

A partir de la ecuación 7 [46], se obtiene el tiempo de retención requerida para la digestión de la materia prima o biomasa.

$$TR = (-51,227 * \ln(T^{\circ}\text{C}) + 206,72) \quad (7)$$

Donde:

TR = Tiempo de retención en días

T°C = Temperatura del sitio del proyecto

$$TR = (-51,227 * \ln(20^{\circ}\text{C}) + 206,72)$$

$$\mathbf{TR = 53,26 \approx 54 \text{ días}}$$

Reemplazando las variables en la ecuación 7, se obtiene que el tiempo de retención necesario para la digestión es aproximadamente 54 días. Ya que no existe un criterio definido para la obtención del tiempo de retención [46], en este trabajo como se puede observar el TR calculado se obtuvo en función de la temperatura ambiente del lugar donde tiene desarrollo este trabajo de tesis y así mismo como se mencionó empleando la ecuación 7, con la cual se puede obtener un dato más conciso a algunos que se reportan en la literatura [46].

#### 4.3.8 Cálculo del volumen necesario para el biodigestor

A partir de la ecuación 8 y con base en la carga (C) que ingresa al biodigestor, así como el tiempo de retención (TR) calculado anteriormente se calcula el volumen del digestor.

$$V_d = C * TR * 1.2 \quad (8)$$

Donde:

Vd = Volumen del digestor

C = Carga diaria para alimentar el digestor expresada en litro día

TR = Tiempo de retención en días

1,2 = Volumen adicional o sobredimensionamiento para el almacenamiento

Se realiza una conversión de unidades de la carga (C) en una relación 1:1 asumiendo en este caso que un kilogramo  $\frac{\text{kg}}{\text{día}}$  de materia prima para la carga es igual a un litro  $\frac{\text{l}}{\text{día}}$  de materia prima para la carga.

$$C = 173,25 \text{ kg/día} * \left( \frac{1 \text{ l/día}}{1 \text{ kg}} \right)$$

$$C = 173,25 \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

Reemplazando las variables se obtiene

$$Vd = 173,25 \frac{\text{l}}{\text{día}} * 54 \text{ días} * 1.2$$

$$Vd = 11226,6 \text{ l} = 11,22 \text{ m}^3$$

Reemplazando las variables en la ecuación 8, se obtiene que el volumen del tanque requerido debe ser de 11226,6 litros o 11,22 m<sup>3</sup>.

#### 4.3.9 Cálculo producción de biogás

A partir de la materia prima para carga MPC calculada anteriormente y de las variables SO y P cuyos valores se obtienen de la tabla 1, se procede a calcular la producción o generación de biogás a través del estiércol de los cerdos.

$$PG = MPC * SO * P \tag{9}$$

Donde:

PG = Producción de gas

MPC = Materia prima para carga en kilogramos

SO = % de materia orgánica  
 P = Producción aproximada de gas  $\text{m}^3/\text{día}$  por especie

$$PG = 173,25 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 12 \% * 0.350 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\mathbf{PG = 7,28 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

Sustituyendo las variables en la ecuación 9, se obtiene que la producción de gas es de  $7,28 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$ .

Como se puede observar la producción de gas obtenida, a partir de la materia prima para la carga del biodigestor y de las variables mostradas en la tabla 1 corresponde a  $7,28 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$ , para definir un uso a este gas producido, a continuación, se calcula la producción por hora.

$$\text{producción de gas } \text{m}^3/\text{h} = \frac{PG}{24 \text{ h}}$$

$$\text{producción de gas } \text{m}^3/\text{h} = \frac{7,28 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{24 \text{ h}}$$

$$\mathbf{\text{producción de gas } \text{m}^3/\text{h} = 0,30 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

Conociendo la producción de gas por hora la cual es de  $0,30 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  y comparándola con los valores de la tabla 3, se puede establecer un uso para este gas producido el cual puede ser empleado para: cocción de alimentos ya sea en estufa o fogón, iluminación por medio de lámpara de gas, calefacción para la cría de pollos a cerdos.

**Tabla 4-3.** Uso y consumos de biogás

Practica	Consumo en $m^3/h$
Estufa de cocina	0.150 – 0.200
Fogón para cocinar alimentos o frutas	0.300
Lámpara de gas equivalente a una bombilla de 60 W	0.100
Calentadores para lechones o cría de levante	0.250
Calentadores para la cría de pollos	0.150
Motor biogás – diésel por b.h.p	0.420
Producción de 1 kWh con una mezcla biogás diésel	0.700

Fuente: unidad de planeación minero energética - UPME, guía de implementación de sistemas de biogás (2003)

#### 4.4 DISEÑO

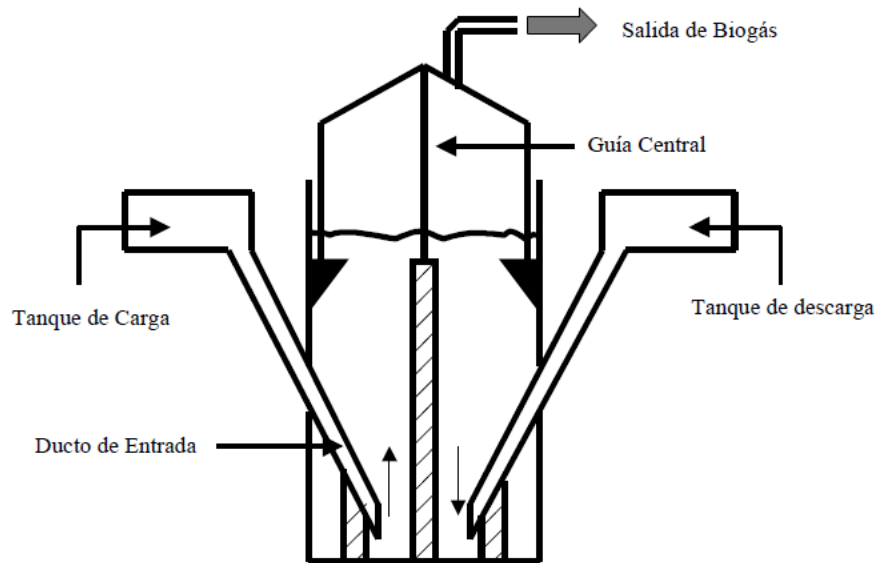
Desarrollo de objetivo No. 2: Establecer los elementos necesarios para el diseño de un biodigestor, mediante la búsqueda de información bibliográfica, para reconocimiento de componentes necesarios.

El biodigestor diseñado en este trabajo corresponde a un biodigestor tipo hindú o campana flotante.

El biodigestor tipo hindú está formado por un cilindro de mampostería, con una campana de forma esférica construida por lo general de metal (acero) de 2 o 2,5 mm de espesor (Barrera et al., 2020). Su eficiencia es mayor que la de otro tipo de digestores puesto que solo requiere de  $1/2$  o  $1/3$  del tiempo de retención requerido en otros tipos de digestores [14], el tiempo de retención calculado en este trabajo fue de 54 días tomando en cuenta lo mencionado anteriormente este TR podría disminuir a 27 o 18 días respectivamente esto sin afectar la producción de biogás. Así mismo este tipo de biodigestor mantiene siempre una presión de gas constante que es aproximadamente 0,1 atm[49], lo que permite un correcto funcionamiento de los equipos que consumen este gas.



**Figura 4-6.** Biodigestor tipo hindú o campana flotante



Fuente: unidad de planeación minero energética – UPME, guía de implementación de sistemas de biogás (2003)

#### 4.4.1 Cálculo del volumen total del biodigestor

Este parámetro se determina a partir del volumen del digestor ( $V_d$ ) y la posible producción de gas (PG). Empleando la ecuación 10.

$$V_{TB} = V_d + PG \quad (10)$$

Donde:

$V_d$  = Volumen del digestor

PG = Producción de gas

$$V_{TB} = 11,22 \text{ m}^3 + 7,28 \text{ m}^3$$

$$V_{TB} = 18,50 \text{ m}^3$$

Reemplazando las variables en la ecuación 10, se obtiene que el volumen total del biodigestor es de  $18,50 \text{ m}^3$ .

#### 4.4.2 Diseño cámara de digestión cálculo diámetro y altura

Se determinará el diámetro que tendrá el biodigestor con base en el volumen del digestor (Vd).

A partir de la ecuación 11, se calculará el diámetro del digestor.

$$Vd = \left( \frac{\pi * D^2}{4} \right) \quad (11)$$

Donde:

Vd = Volumen del digestor

D = Diámetro

Despejando el diámetro de la ecuación 11, se obtiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{V * 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{11,22 \text{ m}^3 * 4}{\pi}}$$

$$\mathbf{D = 2,43 \text{ m}}$$

Obtenido el diámetro que debe tener la cámara de digestión, se procede a calcular la altura de ésta, a partir de la ecuación 12 se despeja H:

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * H \quad (12)$$

$$H = \frac{Vd * 4}{\pi * D^2}$$

Donde:

H = Altura, equivalente a la altura de la cámara de digestión

Vd = Volumen del digestor

D = Diámetro

$$H = \frac{11,22 \text{ m}^3 * 4}{\pi * (2.43 \text{ m})^2}$$

$$\mathbf{H = 2.42 \text{ m}}$$

#### 4.4.2.1 Cálculo de la altura real de la cámara de digestión

Con base en la altura (H) calculada anteriormente, se calcula la altura real que debe poseer el cilindro de la cámara de digestión. Para el cálculo de esta altura se debe considerar que para los biodigestores tipo hindú, como el que se está diseñando en este trabajo la presión está determinada en 0,15 m.C.A. (metros columna agua), de la misma manera se considera un factor de seguridad de 0,15, [14].

$$H_{\text{real cámara}} = H + P + 0,15 \quad (13)$$

Donde:

$H_{\text{real cámara}}$  = Altura real de la cámara de digestión  
H = Altura, equivalente a la altura de la cámara de digestión  
P = Presión columna de agua

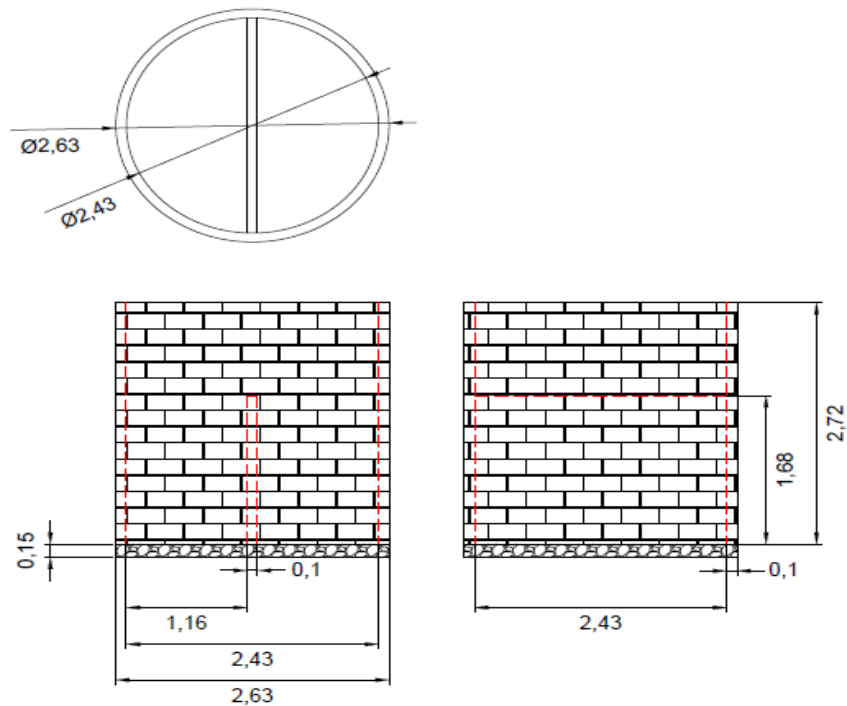
$$H_{\text{real cámara}} = 2.42 \text{ m} + 0,15 \text{ m} + 0,15$$

$$\mathbf{H_{\text{real cámara}} = 2,72 \text{ m}}$$

Las dimensiones obtenidas para la cámara de digestión son: diámetro interno  $D = 2.43 \text{ m}$  y altura de  $H_{\text{real}} = 2,72 \text{ m}$ , cabe resaltar que estas dimensiones se obtuvieron con base en el volumen (Vd) calculado.

En la figura 6 se puede observar el esquema de la cámara de digestión, el cual se realizó con las dimensiones calculadas anteriormente, las cuales se encuentran en metros (m).

**Figura 4-7.** Esquema cámara de digestión



Fuente: elaboración propia

#### **4.4.2.2 Calculo de materiales para la construcción de la cámara de digestión**

La construcción de la cámara de digestión se considera que se realice en ladrillo, por esta razón se seleccionó ladrillo común macizo, el cual tiene las siguientes dimensiones:

Largo = 20 cm  
Ancho = 10 cm  
Alto = 6 cm

- **Cálculo cantidad de ladrillos, cemento y arena para la construcción de la cámara de digestión**

Para definir la cantidad de ladrillo que se requiere para la construcción de la cámara de digestión es necesario conocer el área de esta, así como el área de un cilindro.

## Área cámara de digestión

$$A_{\text{bio}} = \pi * D_d * H_{\text{real cámara}} \quad (14)$$

Donde:

$$\begin{aligned} A_{\text{bio}} &= \text{Área del biodigestor} \\ D_d &= \text{Diámetro del digestor} \\ H_{\text{real cámara}} &= \text{Altura real de la cámara de digestión} \end{aligned}$$

Al diámetro del digestor  $D_d$  se le suma el ancho del ladrillo por tanto

$$D_d' = 2,63 \text{ m}$$

$$A_{\text{bio}} = \pi * D_d' * H_{\text{real cámara}}$$

$$A_{\text{bio}} = \pi * 2,63 \text{ m} * 2,72 \text{ m}$$

$$\mathbf{A_{\text{bio}} = 22,44 \text{ m}^2}$$

## Cálculo área del ladrillo

Para este caso se considera que la junta de pegue entre ladrillos sea de 1,5 cm o 0,015 m.

Dimensiones del ladrillo incluida la junta de pegue

$$L = \text{Largo}' = 21,5 \text{ cm} = 0,21 \text{ m}$$

$$H_{\text{ladrillo}} = \text{Alto}' = 7,5 \text{ cm} = 0,075 \text{ m}$$

$$A_{\text{ladrillo}} = L * H \quad (15)$$

Donde:

$$\begin{aligned} A_{\text{ladrillo}} &= \text{Área del ladrillo} \\ L &= \text{Largo del ladrillo incluida la junta} \\ H_{\text{ladrillo}} &= \text{Altura del ladrillo incluida la junta} \end{aligned}$$

$$A_{\text{ladrillo}} = 0,21 \text{ m} * 0,075 \text{ m}$$

$$A_{\text{ladrillo}} = 0,02 \text{ m}^2$$

- **Cantidad de ladrillos necesarios para la construcción de la cámara de digestión**

$$\text{Número de ladrillo} = \frac{A_{\text{bio}}}{A_{\text{ladrillo}}} \quad (16)$$

Donde:

Número de ladrillo = Número de ladrillos

$A_{\text{bio}}$  = Área del biodigestor

$A_{\text{ladrillo}}$  = Área del ladrillo

$$\text{Número de ladrillos} = \frac{22,44 \text{ m}^2}{0,02 \text{ m}^2}$$

$$\text{Número de ladrillo} = 1122$$

- **Cantidad de mortero (mezcla de cemento, arena y agua) para la construcción de la cámara de digestión**

Para conocer la cantidad de mortero requerido para el pegue de los ladrillos se debe calcular el volumen de la mampostería, así como el volumen total de los ladrillos, pero en este caso sin considerar la junta de pegue.

**volumen mampostería**

$$V_1 = \left( \frac{\pi * D^2}{4} \right) * H_{\text{real cámara}} \quad (17)$$

Donde:

$V_1$  = Volumen

$D_d'$  = Diámetro del digestor incluido el ancho de los ladrillos

$H_{\text{real cámara}}$  = Altura real de la cámara de digestión

$$V_1 = \left( \frac{\pi * (2,63 \text{ m})^2}{4} \right) * 2,72 \text{ m}$$

$$V_1 = 14,73 \text{ m}^3$$

$$V_2 = \left( \frac{\pi * D^2}{4} \right) * H_{\text{real cámara}} \quad (18)$$

Donde:

$V_2$  = Volumen

$D_d$  = Diámetro interior del biodigestor

$H_{\text{real cámara}}$  = Altura real de la cámara de digestión

$$V_2 = \left( \frac{\pi * (2,43 \text{ m})^2}{4} \right) * 2,72 \text{ m}$$

$$V_2 = 12,57 \text{ m}^3$$

Obtenidos  $v_1$  y  $v_2$  se calcula el volumen de la mampostería

$$V_{\text{mampos, cámara diges}} = V_1 - V_2$$

$$V_{\text{mampos, cámara}} = 14,73 \text{ m}^3 - 12,57 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{mampos, cámara diges}} = 2,16 \text{ m}^3$$

### Volumen total de los ladrillos

$$V_{\text{total ladrillos}} = N_{\text{ladrillos}} * \text{Largo}_{\text{ladrillo}} * \text{Ancho}_{\text{ladrillo}} * \text{Alto}_{\text{ladrillo}} \quad (19)$$

$$V_{\text{total ladrillos}} = N_{\text{ladrillos}} * \text{Largo}_{\text{ladrillo}} * \text{Ancho}_{\text{ladrillo}} * \text{Alto}_{\text{ladrillo}}$$

$$V_{\text{total ladrillos}} = 1122 * 0,20 \text{ m} * 0,10 \text{ m} * 0,06 \text{ m}$$

$$V_{\text{total ladrillos}} = 1,35 \text{ m}^3$$

Con los valores obtenidos del volumen de la mampostería y el volumen total de los ladrillos se calcula el volumen de mortero (mezcla de cemento, arena y agua) requerido. Para ello:

( 20)

$$V_{\text{mortero}} = V_{\text{mampos}} - V_{\text{total ladrillos}}$$

$$V_{\text{mortero}} = 2,16 \text{ m}^3 - 1,35 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{mortero}} = 0,81 \text{ m}^3$$

- **Cantidad unitaria de materiales (cemento, arena y agua) para la construcción de la cámara de digestión**

Obtenido el volumen de mortero ( $V_{\text{mortero}} = 0,81 \text{ m}^3$ ) se procede a calcular la cantidad unitaria de cemento, arena y agua. El tipo de mortero empleado para el pegue de los ladrillos es de tipo 1:3 o también conocido como tipo M, este tipo de mortero se emplea para la mampostería de muros estructurales los cuales requieren de mayor resistencia, de igual modo este tipo de mortero se emplea cuando se necesita que el muro soporte fuertes cargas laterales, dentro de las especificaciones mecánicas de este tipo de mezcla se encuentra que a los 7 días se logra una resistencia a la compresión de aproximadamente 12,5 Mpa y a los 28 días se puede alcanzar una resistencia a la compresión de 20 Mpa, (*MORTERO 1:3 (Hecho En Obra) - Especificaciones Técnicas Para Construcción de Viviendas, n.d.*).

**Tabla 4-4.** Dosificación de materiales para mortero

<b>Dosificación de materiales para mortero</b>			
<b>Tipo mortero</b>	<b>Materiales por m<sup>3</sup></b>		
	<b>Cemento (kg)</b>	<b>Arena (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Agua (l)</b>
<b>1:2</b>	610	0,97	250
<b>1:3</b>	454	1,10	250
<b>1:4</b>	364	1,16	240
<b>1:5</b>	302	1,20	240
<b>1:6</b>	261	1,20	235

Fuente: (Construyendo.co)

### **Cálculo cemento**

$$\text{Cemento} = 454 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * V_{\text{mortero}}$$

El valor de  $454 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  se obtiene de la tabla 4, tipo de mortero 1:3



$$\text{Cemento} = 454 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,81 \text{ m}^3$$

$$\text{Cemento} = 367,74 \text{ kg}$$

### **Cálculo arena**

$$\text{Arena} = 1,10 \text{ m}^3 * V_{\text{mortero}}$$

El valor de 1,10 m<sup>3</sup> se obtiene de la tabla 4, tipo de mortero 1:3

$$\text{Arena} = 1,10 \text{ m}^3 * 0,81 \text{ m}^3$$

$$\text{Arena} = 0,89 \text{ m}^3$$

### **Cálculo de agua**

$$\text{Agua} = 250 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} * V_{\text{mortero}}$$

El valor de 250 m<sup>3</sup> se obtiene de la tabla 4, tipo de mortero 1:3

$$\text{Agua} = 250 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} * 0,81 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = 202,50 \text{ l}$$

Para la construcción de cámara de digestión es necesario 1122 ladrillos, 367,74 kg de cemento, 0,89 m<sup>3</sup> de arena y para la mezcla del mortero se requieren 202,50 l de agua.

#### **4.4.2.3 Calculo de concreto requerido para la losa inferior de la cámara de digestión**

Para el cálculo del concreto requerido para la losa de la cámara de digestión, es necesario conocer su volumen. A partir de la siguiente ecuación se calcula este volumen.

$$V_{\text{losa}} = \left( \frac{\pi * D^2}{4} \right) * H$$

Donde:

$V_{losa}$  = Volumen losa  
 $D$  = Diámetro exterior de la cámara de digestión  
 $H$  = Altura de la losa

$$V_{losa} = \left( \frac{\pi * (2,63 \text{ m})^2}{4} \right) * 0,15 \text{ m}$$

$$V_{losa} = 0,81 \text{ m}^3$$

**Tabla 4-5.** Dosificación de materiales para concreto

Dosificación de materiales para concreto				
Tipo concreto	Materiales por $m^3$			
	Cemento (kg)	Arena ( $m^3$ )	Grava ( $m^3$ )	Agua (l)
1:2:2	420	0,67	0,67	220
1:2:3	350	0,56	0,84	180
1:2:4	300	0,48	0,96	170
1:3:4	260	0,63	0,84	170
1:3:6	210	0,5	1	160

Fuente: (arquitectura civil)

Obtenido el volumen de la losa ( $V_{losa} = 0,81 \text{ m}^3$ ) se procede a calcular la cantidad unitaria de cemento, arena, grava y agua. El tipo de concreto empleado es el tipo 1:2:2, dentro de sus aplicaciones se encuentra la construcción de placas (losas), este tipo de concreto posee una resistencia a la compresión mayor a 17,4 Mpa la cual se alcanza a los 28 días después de vertido (*CONCRETO 21 MPA (Hecho En Obra 1:2:2 Con Arena de Río y Triturado de 3/4") - Especificaciones Técnicas Para Construcción de Viviendas, n.d.*).

### Cálculo cemento

$$\text{Cemento} = 420 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * V_{losa}$$

El valor de  $420 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  se obtiene de la tabla 5.

$$\text{Cemento} = 420 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,81 \text{ m}^3$$

$$\text{Cemento} = 341,29 \text{ kg}$$

### **Cálculo arena**

$$\text{Arena} = 0,67 \text{ m}^3 * V_{\text{losa}}$$

El valor de  $0,67 \text{ m}^3$  se obtiene de la tabla 5.

$$\text{Arena} = 0,67 \text{ m}^3 * 0,81 \text{ m}^3$$

$$\text{Arena} = 0,54 \text{ m}^3$$

### **Cálculo grava**

$$\text{Grava} = 0,67 \text{ m}^3 * V_{\text{losa}}$$

El valor de  $0,67 \text{ m}^3$  se obtiene de la tabla 5.

$$\text{Grava} = 0,67 \text{ m}^3 * 0,81 \text{ m}^3$$

$$\text{Grava} = 0,54 \text{ m}^3$$

### **Cálculo de agua**

$$\text{Agua} = 220 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} * V_{\text{losa}}$$

El valor de  $220 \text{ m}^3$  se obtiene de la tabla 5.

$$\text{Agua} = 220 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} * 0,81 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = 178,77 \text{ l}$$

Para la construcción de la losa de la cámara de digestión es necesario 341.29 kg de cemento,  $0,54 \text{ m}^3$  de arena,  $0,54 \text{ m}^3$  de grava y para la mezcla del concreto se requieren 178,77 l de agua. Del mismo modo se requieren 12 varillas de acero de  $3/8$  " por 6 m.

#### 4.4.3 Diseño cámara de carga o llenado

El volumen de la cámara de llenado debe ser al menos del mismo volumen que la carga diaria para alimentar el digestor.

La carga diaria calculada anteriormente:

$$C = 173,25 \text{ kg} * \left( \frac{1 \text{ l}}{1 \text{ kg}} \right)$$

$$C = 173,25 \text{ l} = 0.17 \text{ m}^3$$

De acuerdo al cálculo realizado la cámara de carga o llenado debe tener un volumen de  $0.17 \text{ m}^3$ . Pero se recomienda que el volumen de la cámara de llenado sea del doble del volumen de carga o que es lo mismo se estaría sobredimensionando un 50% [14], por ende  $V = 0.34 \text{ m}^3$

Por tanto, la cámara de llenado tiene las siguientes dimensiones con el propósito de que esta tenga una forma tal que permita el llenado del digestor de una manera sencilla, de igual modo para garantizar que el volumen sea del doble del volumen de la carga, cabe resaltar que estas dimensiones son internas:

$L = 0.65 \text{ m}$  largo del tanque

$a = 0.65 \text{ m}$  ancho del tanque

$h_1 = 0.65 \text{ m}$  altura del tanque

$h_2 = 0.10 \text{ m}$  altura del tanque

#### Volumen 1

$$V_1 = L * (h_1 - h_2) * a \quad (21)$$

$$V_1 = 0,65 \text{ m} * (0,65 \text{ m} - 0,10 \text{ m}) * 0,65 \text{ m}$$

$$V_1 = 0,23 \text{ m}^3$$

#### Volumen 2

$$V_2 = \frac{L * (h_1 - h_2)}{2} * a \quad (22)$$

$$V_2 = \frac{0,65 \text{ m} * (0,65 \text{ m} - 0,10 \text{ m})}{2} * 0,65 \text{ m}$$

$$V_2 = 0,12 \text{ m}^3$$

### **Volumen total de la cámara de llenado**

$$V_T = V_1 + V_2 \quad (23)$$

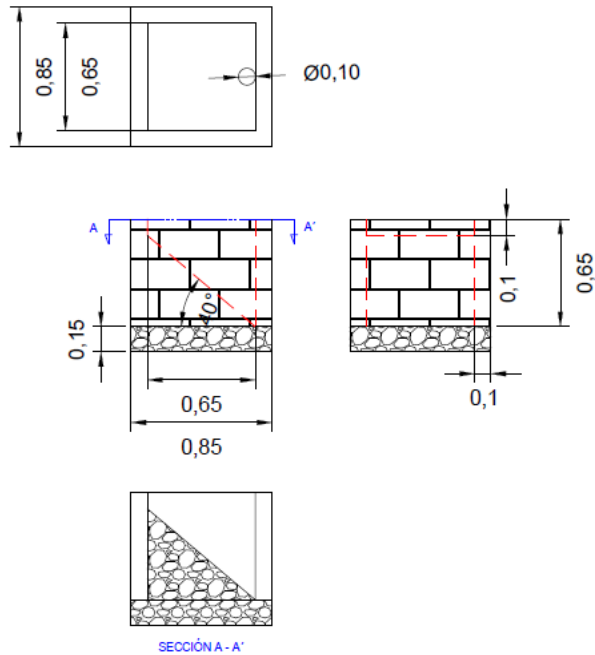
$$V_T = 0,23 \text{ m}^3 + 0,12 \text{ m}^3$$

$$V_T = 0,35 \text{ m}^3$$

De acuerdo al cálculo realizado nos indica que la cámara de carga diseñada tiene la capacidad de albergar un volumen de  $0,35 \text{ m}^3$ . De igual modo esta cámara tiene que ser situada por lo menos 20 cm o 0,20 m por encima de la biomasa que se encuentre en el digestor, la tubería de llenado o carga puede ser de 4" o 4" $\frac{1}{2}$ , esto con el propósito de facilitar el llenado del digestor. Para la selección del diámetro del ducto, se seleccionó con base en que la biomasa es líquida.

En la figura 7 se puede observar el esquema de la cámara de carga o llenado, el cual se realizó con las dimensiones calculadas anteriormente, las cuales se encuentran en metros (m).

**Figura 4-8.** Esquema cámara de llenado



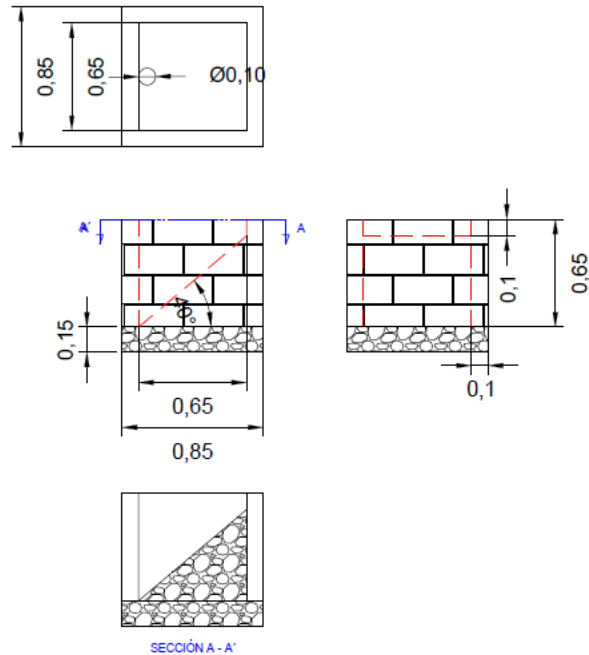
Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.4 Diseño cámara de descarga

Al igual que la cámara de carga, la cámara de descarga se debe dimensionar para el doble del volumen de la carga diaria para alimentar el digestor, por esta razón esta cámara tendrá las mismas dimensiones que la cámara de carga, solo que en la cámara de descarga cambia la posición del ducto de descarga el cual debe ser de 4" o 4" $\frac{1}{2}$ , considerando que la biomasa es líquida.

En la figura 8 se puede observar el esquema de la cámara de descarga, el cual se realizó con las dimensiones calculadas anteriormente, las cuales se encuentran en metros (m).

**Figura 4-9.** Esquema cámara de descarga



Fuente: elaboración propia

#### **4.4.5 Cálculo de materiales para la construcción de las cámaras de llenado y descarga**

La construcción de las cámaras de llenado y descarga se considera que se realice en ladrillo, por esta razón se seleccionó ladrillo común macizo, el cual tiene las siguientes dimensiones:

Largo = 20 cm

Ancho = 10 cm

Alto = 6 cm

##### **4.4.5.1 Cálculo cantidad de ladrillos, cemento y arena para la construcción de las cámaras de llenado y descarga**

Para definir la cantidad de ladrillo que se requiere para la construcción de las cámaras de llenado y descarga es necesario conocer el área de estas.

##### **Área cámaras**

$$A_{\text{cara 1}} = b_{\text{cara 1}} * H_{\text{cara 1}} \quad (24)$$

Donde:

$$\begin{aligned} A_{\text{cara 1}} &= \text{Área cara 1} \\ b_{\text{cara 1}} &= \text{Base cara 1} \\ H_{\text{cara 1}} &= \text{Altura cara 1} \end{aligned}$$

$$A_{\text{cara 1}} = 0,85 \text{ m} * 0,65 \text{ m}$$

$$\mathbf{A_{\text{cara 1}} = 0,55 \text{ m}^2}$$

Se tiene dos caras con estas dimensiones, por tanto el área cara 1 es  $\mathbf{A_{\text{cara 1}}' = 1,10 \text{ m}^2}$

(25)

$$A_{\text{cara 2}} = b_{\text{cara 2}} * H_{\text{cara 2}}$$

Donde:

$$\begin{aligned} A_{\text{cara 2}} &= \text{Área cara 2} \\ b_{\text{cara 2}} &= \text{Base cara 2} \\ H_{\text{cara 2}} &= \text{Altura cara 2} \end{aligned}$$

$$A_{\text{cara 2}} = 0,65 \text{ m} * 0,65 \text{ m}$$

$$\mathbf{A_{\text{cara 2}} = 0,42 \text{ m}^2}$$

Se tiene dos caras con estas dimensiones, por tanto el área cara 2 es  $\mathbf{A_{\text{cara 2}}' = 0,84 \text{ m}^2}$

El área total de la cámara es:

$$A_{\text{total cámara}} = 1,10 \text{ m}^2 + 0,84 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{A_{\text{total cámara}} = 1,94 \text{ m}^2}$$

**Cálculo área del ladrillo**



Para este caso se considera que la junta de pegue entre ladrillos sea de 1,5 cm o 0,015 m. empleando la ecuación 15 y las dimensiones del ladrillo incluida la junta de pegue se obtiene:

$$A_{\text{ladrillo}} = 0,21 \text{ m} * 0,075 \text{ m}$$

$$A_{\text{ladrillo}} = 0,02 \text{ m}^2$$

#### 4.4.5.2 Cantidad de ladrillo necesarios para la construcción de una cámara

$$\text{Número de ladrillo} = \frac{A_{\text{total cámara}}}{A_{\text{ladrillo}}} \quad (26)$$

Donde:

$$\begin{aligned} \text{Número de ladrillo} &= \text{Número de ladrillos} \\ A_{\text{pared divisora}} &= \text{Área pared divisora} \\ A_{\text{ladrillo}} &= \text{Área del ladrillo} \end{aligned}$$

$$\text{Número de ladrillo} = \frac{1,94 \text{ m}^2}{0,02 \text{ m}^2}$$

$$\text{Número de ladrillo} = 97$$

#### 4.4.5.3 Cantidad de mortero (mezcla de cemento, arena y agua) para la construcción de las cámaras

Para conocer la cantidad de mortero requerido para el pegue de los ladrillos se debe calcular el volumen de la mampostería, así como el volumen total de los ladrillos, pero en este caso sin considerar la junta de pegue.

#### Volumen mampostería

$$V_1 = b_{\text{cámara}} * H_{\text{cámara}} * a_{\text{cámara}} \quad (27)$$

Donde:

$$\begin{aligned} V_1 &= \text{Volumen} \\ b_{\text{cámara}} &= \text{Base cámara} \\ H_{\text{cámara}} &= \text{Altura cámara} \\ a_{\text{cámara}} &= \text{Ancho cámara} \end{aligned}$$

$$V_1 = 0,85 \text{ m} * 0,65 \text{ m} * 0,85\text{m}$$

$$V_1 = 0,47 \text{ m}^3$$

( 28)

$$V_2 = b_{cámara} * H_{cámara} * a_{cámara}'$$

Donde:

$V_2 =$	Volumen
$b_{cámara} =$	Base cámara
$H_{cámara} =$	Altura cámara
$a_{cámara}' =$	Ancho interno de la cámara

$$V_2 = 0,65 \text{ m} * 0,65 \text{ m} * 0,65\text{m}$$

$$V_2 = 0,27 \text{ m}^3$$

obtenidos  $v_1$  y  $v_2$  se calcula el volumen de la mampostería

$$V_{\text{mampos cámara}} = V_1 - V_2$$

$$V_{\text{mampos cámara}} = 0,47 \text{ m}^3 - 0,27 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{mampos cámara}} = 0,20 \text{ m}^3$$

### **Volumen total de los ladrillos**

A partir de la ecuación 19 se calcula el volumen total de los ladrillos

$$V_{\text{total ladrillos}} = 97 * 0,20 \text{ m} * 0,10\text{m} * 0,06 \text{ m}$$

$$V_{\text{total ladrillos}} = 0,12 \text{ m}^3$$

Con los valores obtenidos del volumen de la mampostería y el volumen total de los ladrillos se calcula el volumen de mortero (mezcla de cemento, arena y agua) requerido:

A partir de la ecuación 20 se obtiene

$$V_{\text{mortero}} = 0,20 \text{ m}^3 - 0,12 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{mortero}} = 0,08 \text{ m}^3$$

#### 4.4.5.4 Cantidad unitaria de materiales (cemento, arena y agua) para la construcción de las cámaras de llenado y descarga

Obtenido el volumen de mortero ( $V_{\text{mortero}} = 0,08 \text{ m}^3$ ) se procede a calcular la cantidad unitaria de cemento, arena y agua. El tipo de mortero empleado para el pegue de los ladrillos es de tipo 1:3 o también conocido como tipo M, este tipo de mortero se emplea para la mampostería de muros estructurales los cuales requieren de mayor resistencia, de igual modo este tipo de mortero se emplea cuando se necesite que el muro soporte fuertes cargas laterales, dentro de las especificaciones mecánicas de este tipo de mezcla se encuentra que a los 7 días se logra una resistencia a la compresión de aproximadamente 12,5 Mpa y a los 28 días se puede alcanzar una resistencia a la compresión de 20 Mpa, (*MORTERO 1:3 (Hecho En Obra) - Especificaciones Técnicas Para Construcción de Viviendas, n.d.*).

##### Cálculo cemento

$$\text{Cemento} = 454 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * V_{\text{mortero}}$$

El valor de  $454 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  se obtiene de la tabla 4, tipo de mortero 1:3

$$\text{Cemento} = 454 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,08 \text{ m}^3$$

$$\text{Cemento} = 36,32 \text{ kg}$$

##### Cálculo arena

$$\text{Arena} = 1,10 \text{ m}^3 * V_{\text{mortero}}$$

El valor de  $1,10 \text{ m}^3$  se obtiene de la tabla 4, tipo de mortero 1:3

$$\text{Arena} = 1,10 \text{ m}^3 * 0,08 \text{ m}^3$$

$$\text{Arena} = 0,09 \text{ m}^3$$

### Cálculo de agua

$$\text{Agua} = 250 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} * V_{\text{mortero}}$$

El valor de 250 m<sup>3</sup> se obtiene de la tabla 4, tipo de mortero 1:3

$$\text{Agua} = 250 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} * 0,08 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = 20 \text{ l}$$

La cámara de llenado y de descarga tienen las mismas dimensiones, por tanto, para la construcción de las dos cámaras es necesario 194 ladrillos, 72,64 kg de cemento, 0,18 m<sup>3</sup> de arena y para la mezcla del mortero se requieren 20 l de agua.

### 4.4.5.5 Cálculo de concreto para la losa inferior de las cámaras de llenado y descarga

Para el cálculo del concreto requerido para la losa de las cámaras de llenado y descarga, es necesario conocer su volumen. A partir de la siguiente ecuación se calcula este volumen.

$$V_{\text{losa cámara}} = 0,85 \text{ m} * 0,15 \text{ m} * 0,85 \text{ m}$$

$$V_{\text{losa cámara}} = 0,11 \text{ m}^3$$

Obtenido el volumen de la losa ( $V_{\text{losa cámara}} = 0,11 \text{ m}^3$ ) se procede a calcular la cantidad unitaria de cemento, arena, grava y agua. El tipo de concreto empleado es el tipo 1:2:2, dentro de sus aplicaciones se encuentra la construcción de placas (losas), este tipo de concreto posee una resistencia a la compresión mayor a 17,4 Mpa la cual se alcanza a los 28 días después de vertido (*CONCRETO 21 MPA (Hecho En Obra 1:2:2 Con Arena de Río y Triturado de 3/4") - Especificaciones Técnicas Para Construcción de Viviendas, n.d.*).

### Cálculo cemento

$$\text{Cemento} = 420 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * V_{\text{losa cámara}}$$

El valor de  $420 \frac{kg}{m^3}$  se obtiene de la tabla 5.

$$\text{Cemento} = 420 \frac{kg}{m^3} * 0,11 m^3$$

$$\text{Cemento} = 46,20 \text{ kg}$$

### **Cálculo arena**

$$\text{Arena} = 0,67 m^3 * V_{\text{losa cámara}}$$

El valor de  $0,67 m^3$  se obtiene de la tabla 5.

$$\text{Arena} = 0,67 m^3 * 0,11 m^3$$

$$\text{Arena} = 0,07 m^3$$

### **Cálculo grava**

$$\text{Grava} = 0,67 m^3 * V_{\text{losa cámara}}$$

El valor de  $0,67 m^3$  se obtiene de la tabla 5.

$$\text{Grava} = 0,67 m^3 * 0,11 m^3$$

$$\text{Grava} = 0,07 m^3$$

### **Cálculo de agua**

$$\text{Agua} = 220 \frac{l}{m^3} * V_{\text{losa}}$$

El valor de  $220 m^3$  se obtiene de la tabla 5.

$$\text{Agua} = 220 \frac{l}{m^3} * 0,11 m^3$$

$$\text{Agua} = 24,20 l$$

La cámara de llenado y de descarga tienen las mismas dimensiones, por tanto para la construcción de la losa de las dos cámaras es  $92,40 \text{ kg}$  de cemento,  $0,14 m^3$  de

arena, 0,14 m<sup>3</sup> de grava y para la mezcla del concreto se requieren 48,40 l de agua. Así mismo se requieren 4 varillas de acero de 3/8" por 6 m.

#### 4.4.6 Diseño campana o gasómetro

En primer lugar, se debe calcular el diámetro interno de la campana para ello se emplea el diámetro calculado para la cámara de digestión  $D = 2.43$  m del mismo modo se emplea la ecuación 29.

$$D_{\text{int,campana}} = D - 0,10 \text{ m} \quad (29)$$

Donde:

$$\begin{aligned} D_{\text{int,campana}} &= \text{Diámetro interno de la campana} \\ D &= \text{Diámetro interno cámara de digestión} \\ 0,10 \text{ m} &= \text{Holgura} \end{aligned}$$

$$D_{\text{int,campana}} = 2.43 \text{ m} - 0,10 \text{ m}$$

$$\mathbf{D_{\text{int,campana}} = 2.33 \text{ m}}$$

Calculado el diámetro interno del gasómetro, se calcula el diámetro externo de la campana igualmente con base en el diámetro interno de cámara de digestión  $D = 2.43$  m.

$$D_{\text{ext,campana}} = D + 0,10 \text{ m} \quad (30)$$

Donde:

$$\begin{aligned} D_{\text{ext,campana}} &= \text{Diámetro externo de la campana} \\ D &= \text{Diámetro interno cámara de digestión} \\ 0,10 \text{ m} &= \text{Holgura} \end{aligned}$$

$$D_{\text{ext,campana}} = 2.43 \text{ m} + 0,10 \text{ m}$$

$$\mathbf{D_{\text{ext,campana}} = 2.53 \text{ m}}$$

Calculados los diámetros, interno y externo de la campana se calculará la altura de esta, para ello se considera el volumen de gas calculado anteriormente el cual fue de  $PG = 7,28 \text{ m}^3$ . A este volumen se le suma un 10% como factor de seguridad.

$$PG = 7,28 \text{ m}^3 + 10\%$$

$$\mathbf{PG = 8 \text{ m}^3 = V_g = 8 \text{ m}^3}$$

La campana se calcula asumiendo que esta solo almacenará únicamente un 50% del volumen  $V_g = 8 \text{ m}^3$  calculado. Por lo anterior:

$$V_g' = \frac{8 \text{ m}^3}{2}$$

$$\mathbf{V_g' = 4 \text{ m}^3}$$

Partiendo del volumen  $V_g' = 4 \text{ m}^3$  se calcula la altura del cuerpo del gasómetro, empleando la ecuación 12:

$$H = \frac{4 \text{ m}^3 * 4}{\pi * (2.53 \text{ m})^2}$$

$$\mathbf{H = 0,79m}$$

Calculada la altura del cuerpo del gasómetro o campana, se procede a calcular la altura de esta, en la cual se considera la presión de soportar la campana y un factor de seguridad.

$$H_r = H + P + 0,10 \tag{31}$$

Donde:

- $H_{\text{real cuerpo}} =$  Altura real cuerpo gasómetro
- $H =$  Altura cuerpo de la campana
- $P =$  Presión (la cual para la campana de un biodigestor tipo hindú se establece en 0,15 mCA)
- $0,10 =$  Factor de seguridad

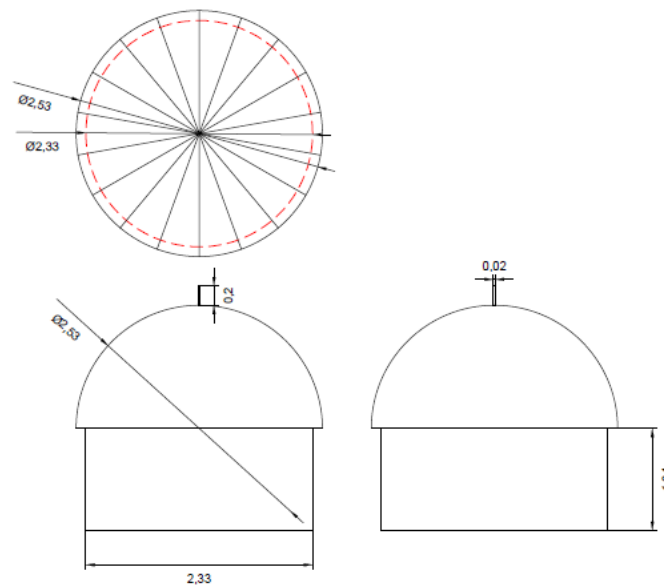
$$H_{\text{real cuerpo}} = 0,79m + 0,15 + 0,10$$

$$H_{\text{real cuerpo}} = \mathbf{1,04 m}$$

La campana del biodigestor tendrá las siguientes dimensiones: diámetro interno  $D_{\text{int,campana}} = 2.33 \text{ m}$ , diámetro externo  $D_{\text{ext,campana}} = 2.53 \text{ m}$  y altura del cuerpo de la campana  $H_r = 1,04 \text{ m}$ .

En la figura 9 se puede observar el esquema de la campana y el gasómetro, el cual se realizó con las dimensiones calculadas anteriormente, las cuales se encuentran en metros (m).

**Figura 4-10.** Esquema campana



Fuente: elaboración propia

#### 4.4.6.1 Cálculo del material requerido para la fabricación de la campana

Para conocer la cantidad de material necesario para la fabricación de la campana o gasómetro, se divide la campana en dos partes: el cuerpo del gasómetro y la cúpula.



- **Cálculo de material para cuerpo del gasómetro**

A partir de la siguiente ecuación se calcula el perímetro del cuerpo

$$P_{\text{cuerpo gaso}} = \pi * D_g$$

( 32)

Donde:

$P_{\text{cuerpo gaso}}$  = Perímetro del cuerpo de la campana

$D_g$  = Diámetro cuerpo de la cámara

$$P_{\text{cuerpo gaso}} = \pi * 2,33 \text{ m}$$

$$\mathbf{P_{\text{cuerpo gaso}} = 7,32 \text{ m}}$$

Calculado el perímetro, se calcula el número de láminas de acero que se requieren para la fabricación. La lámina de acero empleada tiene las siguientes dimensiones:

Largo = L = 2,40 m

Ancho = a = 1,20 m

Espesor = e = 2 mm = 0,002 m

$$N_{\text{láminas}} = \frac{P_{\text{cuerpo gaso}}}{L}$$

( 33)

Donde:

$N_{\text{láminas}}$  = Número de láminas de acero

$P_{\text{cuerpo gaso}}$  = Perímetro del cuerpo del gasómetro

L = Largo de la lámina de acero

$$N_{\text{láminas}} = \frac{7,32 \text{ m}}{2,40 \text{ m}}$$

$$\mathbf{N_{\text{láminas}} = 3,05 \approx 4}$$

Para la fabricación del cuerpo del gasómetro se requieren 4 láminas de acero, cabe resaltar que el cuerpo del gasómetro tiene una altura de 1,04 m.

- **Cálculo de material para la cúpula del gasómetro**

Para el cálculo del material para la fabricación de la cúpula se debe calcular el área de una semiesfera.

( 34)

$$A_{\text{cúpula,semiesferica}} = 2 * \pi * r^2$$

Donde:

$$A_{\text{cúpula,semiesferica}} = \text{Área de la cúpula}$$

En este caso el radio corresponde a 1,26 m del diámetro exterior de la campana.

$$A_{\text{cúpula,semiesferica}} = 2 * \pi * (1,26)^2$$

$$A_{\text{cúpula,semiesferica}} = 9,97 \text{ m}^2$$

Calculado el área de la cúpula, se calcula el número de láminas de acero que se requieren para la fabricación.

$$N_{\text{láminas}} = \frac{A_{\text{cúpula,semiesferica}}}{A_{\text{lámina}}} \quad ( 35)$$

Donde:

$$N_{\text{láminas}} = \text{Número de láminas de acero}$$

$$A_{\text{cúpula,semiesfera}} = \text{Área de la cúpula}$$

$$A_{\text{lámina}} = \text{Área de la lámina de acero}$$

$$N_{\text{láminas}} = \frac{9,97 \text{ m}^2}{2,88 \text{ m}^2}$$

$$N_{\text{láminas}} = 3,46 \approx 4$$

Sumando el número de láminas de acero calculadas tanto para el cuerpo del gasómetro como para la cúpula se requieren en total 8 láminas o planchas de acero.

#### 4.4.7 Diseño pared divisora

La función de la pared divisora es como su nombre lo indica dividir la cámara de digestión en dos subcamaras, en la primera cámara es donde ingresa la biomasa y se produce el proceso de digestión en la otra cámara es donde se deposita el efluente.

$$H_{\text{pared divisora}} = H_{\text{real cámara}} - H_{\text{real cuerpo}} \quad (36)$$

Donde:

$$\begin{aligned} H_{\text{pared divisora}} &= \text{Altura pared divisora} \\ H_{\text{real cámara}} &= \text{Altura real cámara de digestión} \\ H_{\text{real cuerpo}} &= \text{Altura real del cuerpo del gasómetro} \end{aligned}$$

$$H_{\text{pared divisora}} = 2,72 \text{ m} - 1,04 \text{ m}$$

$$H_{\text{pared divisora}} = \mathbf{1,68 \text{ m}}$$

##### 4.4.7.1 Calculo de materiales para la construcción de la pared divisora

La construcción de la pared divisora se considera que se realice en ladrillo, por esta razón se seleccionó ladrillo común macizo, el cual tiene las siguientes dimensiones:

Largo = 20 cm

Ancho = 10 cm

Alto = 6 cm

- **Cálculo cantidad de ladrillos, cemento y arena para la construcción de la pared divisora**

Para definir la cantidad de ladrillo que se requiere para la construcción de la pared divisora es necesario conocer el área de esta.

**Área pared divisora**

(37)

$$A_{\text{pared divisora}} = b_{\text{pared divisora}} * H_{\text{pared divisora}}$$

Donde:

$A_{pared\ divisora} =$  Área pared divisora

$b_{pared\ divisora} =$  Base pared divisora

$H_{pared\ divisora} =$  Altura pared divisora

$$A_{pared\ divisora} = 2,43\text{ m} * 1,68\text{ m}$$

$$A_{pared\ divisora} = 4,08\text{ m}^2$$

### Cálculo área del ladrillo

Para este caso se considera que la junta de pegue entre ladrillos sea de 1,5 cm o 0,015 m. empleando la ecuación 15 y las dimensiones del ladrillo incluida la junta de pegue se obtiene:

$$A_{ladrillo} = 0,215\text{ m} * 0,075\text{ m}$$

$$A_{ladrillo} = 0,02\text{ m}^2$$

- **Cantidad de ladrillo necesarios para la construcción de la pared divisora**

$$\text{Número de ladrillo} = \frac{A_{pared\ divisora}}{A_{ladrillo}} \quad (38)$$

Donde:

Número de ladrillo = Número de ladrillos

$A_{pared\ divisora}$  Área pared divisora

$A_{ladrillo} =$  Área del ladrillo

$$\text{Número de ladrillo} = \frac{4,08\text{ m}^2}{0,02\text{ m}^2}$$

$$\text{Número de ladrillo} = 204$$

- **Cantidad de mortero (mezcla de cemento, arena y agua) para la construcción de la pared divisora**

Para conocer la cantidad de mortero requerido para el pegue de los ladrillos se debe calcular el volumen de la mampostería, así como el volumen total de los ladrillos, pero en este caso sin considerar la junta de pegue.

## Volumen mampostería

( 39)

$$V_{\text{mampos, pared}} = b_{\text{pared divisora}} * H_{\text{pared divisora}} * e_{\text{pared divisora}}$$

Donde:

$$V_{\text{mampos, pared}} = \text{Volumen mampostería}$$

$$b_{\text{pared divisora}} = \text{Base pared divisora}$$

$$H_{\text{pared divisora}} = \text{Altura pared divisora}$$

$$e_{\text{pared divisora}} = \text{Espesor pared divisora}$$

$$V_{\text{mampos, pared}} = b_{\text{pared divisora}} * H_{\text{pared divisora}} * e_{\text{pared divisora}}$$

$$V_{\text{mampos, pared}} = 2,43 \text{ m} * 1,68 \text{ m} * 0,10\text{m}$$

$$V_{\text{mampos, pared}} = \mathbf{0,41 \text{ m}^3}$$

## Volumen total de los ladrillos

A partir de la ecuación 19 se calcula el volumen total de los ladrillos

$$V_{\text{total ladrillos}} = 204 * 0,20 \text{ m} * 0,10\text{m} * 0,06 \text{ m}$$

$$V_{\text{total ladrillos}} = \mathbf{0,24 \text{ m}^3}$$

Con los valores obtenidos del volumen de la mampostería y el volumen total de los ladrillos se calcula el volumen de mortero (mezcla de cemento, arena y agua) requerido:

A partir de la ecuación 20 se obtiene

$$V_{\text{mortero}} = 0,41 \text{ m}^3 - 0,24 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{mortero}} = \mathbf{0,17 \text{ m}^3}$$

- **Cantidad unitaria de materiales (cemento, arena y agua) para la construcción de la pared divisora**

Obtenido el volumen de mortero ( $V_{\text{mortero}} = 0,17 \text{ m}^3$ ) se procede a calcular la cantidad unitaria de cemento, arena y agua. El tipo de mortero empleado para el pegue de los ladrillos es de tipo 1:3 o también conocido como tipo M, este tipo de mortero se emplea para la mampostería de muros estructurales los cuales requieren de mayor resistencia, de igual modo este tipo de mortero se emplea cuando se necesite que el muro soporte fuertes cargas laterales, dentro de las especificaciones mecánicas de este tipo de mezcla se encuentra que a los 7 días se logra una resistencia a la compresión de aproximadamente 12,5 Mpa y a los 28 días se puede alcanzar una resistencia a la compresión de 20 Mpa, (*MORTERO 1:3 (Hecho En Obra) - Especificaciones Técnicas Para Construcción de Viviendas, n.d.*).

### **Cálculo cemento**

$$\text{Cemento} = 454 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * V_{\text{mortero}}$$

El valor de  $454 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  se obtiene de la tabla 4, tipo de mortero 1:3

$$\text{Cemento} = 454 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,17 \text{ m}^3$$

$$\text{Cemento} = \mathbf{77,18 \text{ kg}}$$

### **Cálculo arena**

$$\text{Arena} = 1,10 \text{ m}^3 * V_{\text{mortero}}$$

El valor de  $1,10 \text{ m}^3$  se obtiene de la tabla 4, tipo de mortero 1:3

$$\text{Arena} = 1,10 \text{ m}^3 * 0,17 \text{ m}^3$$

$$\text{Arena} = \mathbf{0,19 \text{ m}^3}$$

### **Cálculo de agua**

$$\text{Agua} = 250 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} * V_{\text{mortero}}$$

El valor de  $250 \frac{\text{l}}{\text{m}^3}$  se obtiene de la tabla 4, tipo de mortero 1:3

$$\text{Agua} = 250 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} * 0,17 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = 42,50 \text{ l}$$

Para la construcción de pared divisora es necesario 204 ladrillos, 77,18 kg de cemento,  $0,19 \text{ m}^3$  de arena y para la mezcla del mortero se requieren 42,50 l de agua.

#### 4.4.8 Diseño riel guía

Este permite que la campana suba o baje totalmente vertical de acuerdo al volumen de gas que se encuentre en el gasómetro. A partir de ecuación:

$$R_{\text{guía}} = 1 + H_{\text{real cuerpo}} + \frac{H_{\text{real cuerpo}}}{2} \quad (40)$$

Donde:

$$R_{\text{guía}} = \text{Longitud del riel}$$

$$H_{\text{real cuerpo}} = \text{Altura real del cuerpo del gasómetro}$$

$$R_{\text{guía}} = 1 + 1,04 \text{ m} + \frac{1,04 \text{ m}}{2}$$

$$R_{\text{guía}} = 2,56 \text{ m}$$

#### 4.4.9 Tuberías

La tubería recomendada para la conducción del biogás, es una tubería de presión de PVC, puesto que esta es resistente a la corrosión, su instalación es sencilla y su precio no es elevado en comparación con otro tipo de tubería como por ejemplo la de cobre.

Con base en el caudal de biogás y los datos de la tabla 5 se selecciona el diámetro de tubería a utilizar.

$$7,28 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}}$$

$$Q = 0,30 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

**Tabla 4-6.** Selección tubería y pérdida de presión en mm CA para tubería PVC, por cada 10 m de tubería.

Caudal $\frac{m^3}{h}$	1/2" 17 mm	3/4" 23 mm	1" 30 mm	1 1/2" 43 mm	2" 54 mm
0,5	1,0	0,3	0,1		
1,0	2,5	0,7	0,2		
2,0	7,0	1,8	0,6		
2,5	9,9	2,5	0,8		
3,0	13,1	3,3	1,0	0,2	
4,0	20,7	5,2	1,6	0,3	
5,0	29,6	7,4	2,2	0,4	
6,0	29,7	9,8	2,9	0,6	
7,0		12,6	3,7	0,7	
8,0		15,7	4,6	0,9	0,3
9,0		19,0	5,6	1,0	0,4
1,0		22,6	6,6	1,3	0,5

Fuente: [48]

De acuerdo al caudal  $Q = 0,30 \frac{m^3}{h}$  calculado y los datos de la tabla 5, la tubería seleccionada es de 3/4" dado que la pérdida de presión en esta tubería es de 0,3 mmCA y el costo es menor que la tubería de 1" aunque la pérdida de presión es inferior a la de la tubería de 3/4", no se selecciona la tubería de 1/2" dado que la pérdida de presión es mayor, aunque el costo es inferior que la tubería de 3/4". Igualmente, se recomienda que la tubería de conducción o distribución sea de 3/4", [48].

#### 4.4.10 Trampa de agua

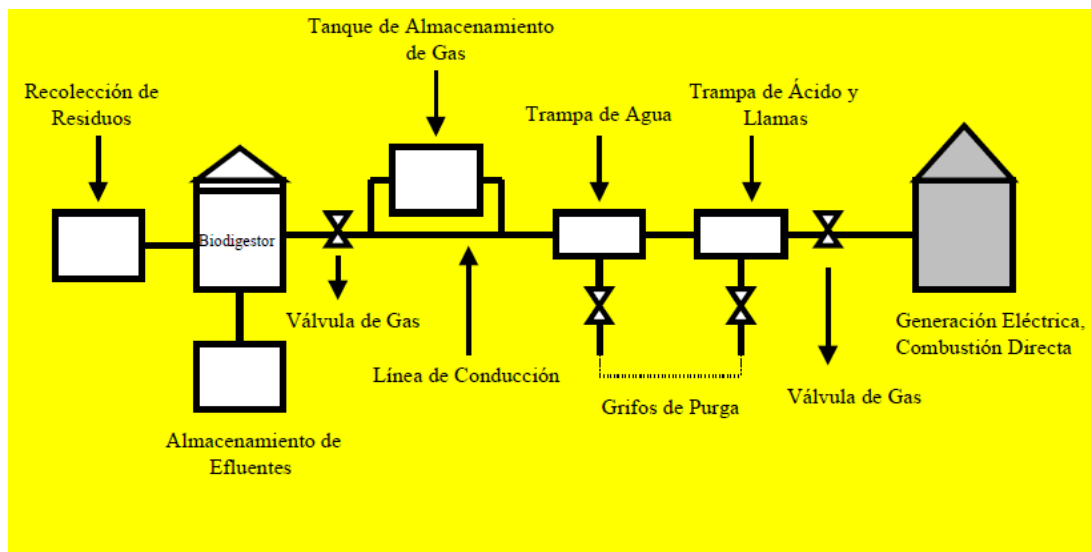
Es necesario la instalación de trampas de agua debido a que el biogás que se genera en el biodigestor se encuentra saturado de vapor de agua el cual se puede condensar en las tuberías de conducción causando obstrucciones disminuyendo la eficiencia de los equipos que consumen este gas, la cantidad de estas trampas depende de las características de la instalación, para el correcto funcionamiento de las trampas la tubería debe tener una pendiente del 2%, [48].

#### 4.4.11 Válvulas



Las válvulas son los elementos que permiten regular el paso del biogás, de igual modo actúan como elementos de seguridad para controlar fugas de gas, las válvulas recomendadas para la utilización en biodigestores son las válvulas tipo bola o esférica, la selección del diámetro de la válvula depende del diámetro de la tubería. Como se puede observar en la figura 10 se requieren de al menos cuatro válvulas claro está que el número de válvulas también depende de las necesidades de cada instalación, las válvulas pueden ser metálicas o de PVC, [22]

**Figura 4-11.** Diagrama de una instalación de biogás



Fuente: unidad de planeación minero energética – UPME, guía de implementación de sistemas de biogás (2003)

#### 4.4.12 Trampa de ácido sulfhídrico

La instalación de este tipo de trampa solo es necesaria si la concentración del  $H_2S$  es mayor al 2%, puesto que el sulfuro de hidrógeno es altamente corrosivo y nocivo para la salud, [48].

#### 4.4.13 Cantidad total de materiales de construcción para la elaboración del biodigestor

En la tabla 7 se presentan las cantidades totales de materiales (ladrillos, cemento, arena, grava y varillas) que se requiere para la construcción del biodigestor, a esas

cantidades se les sumó un 5% el cual corresponde al desperdicio que se pueda presentar.

**Tabla 4-7.** Total, de materiales

<b>Material total</b>		
<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
<b>Ladrillos</b>	1596	Uni
<b>Cemento</b>	998,81 kg o 20 saco de 50 kg	Uni
<b>Arena</b>	3 m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
<b>Grava</b>	1 m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
<b>Varilla acero, corrugada</b>	17 varillas <sup>3</sup> / <sub>8</sub> " por 6 m	Uni

Fuente: elaboración propia

## **CAPÍTULO 5. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICO**

Desarrollo de objetivo No. 3: Realizar el estudio de análisis económico que permita verificar la viabilidad del biodigestor para una posible implementación.

## 5.1 COSTO DE MATERIALES

El análisis económico permite determinar la viabilidad del proyecto para una posible implementación, en la tabla 8 se puede observar el costo de los materiales que se requiere la construcción del biodigestor.

**Tabla 5-8.** Costo de materiales

COSTO DE MATERIALES				
Descripción	Cantidad	Unidad de medida	Valor Unitario	Sub-Total
Ladrillo macizo 20 x 10 x 6 cm	1596	Uni	\$ 610,00	\$ 973.560,00
Cemento gris 50 kg	20	kg	\$ 28.500,00	\$ 570.000,00
Arena	3	m <sup>3</sup>	\$ 67.500,00	\$ 202.500,00
Grava	1	m <sup>3</sup>	\$ 85.000,00	\$ 85.000,00
Varilla corrugada 3/8" x 6 m	17	Uni	\$ 15.200,00	\$ 258.400,00
Lamina de acero 2mm 2.40 x 1.20 m	8	Uni	\$ 294.300,00	\$ 2.354.400,00
Alambre negro	2	kg	\$ 10.990,00	\$ 21.980,00
Tubo PVC 4"x 6 m sanitario	2	m	\$ 101.900,00	\$ 203.800,00
Tubo PVC 3/4" x 6 m presión	6	m	\$ 24.900,00	\$ 149.400,00
Unión PVC 3/4" presión	5	Uni	\$ 800,00	\$ 4.000,00
Pegante PVC	1	Uni	\$ 46.900,00	\$ 46.900,00
Válvula de bola 3/4"	4	Uni	\$ 62.900,00	\$ 251.600,00
Tubo galvanizado 3/4" x 3 m	1	m	\$ 57.769,00	\$ 57.769,00
Manómetro	1	Uni	\$ 43.900,00	\$ 43.900,00
Impermeabilizante	3	Galón	\$ 38.900,00	\$ 116.700,00
Pintura anticorrosiva	2	Galón	\$ 95.900,00	\$ 191.800,00
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 5.531.709,00</b>

Fuente: elaboración propia

## 5.2 COSTO MANO DE OBRA

En la tabla 9 se muestra el costo de la mano de obra que se requiere para la construcción del biodigestor y la fabricación de la campana.

**Tabla 5-9.** Costo mano de obra

COSTO MANO DE OBRA				
Profesión	Numero de trabajos	Valor día	Días	Total
Maestro de construcción	1	\$ 70.000,00	20	\$ 1.400.000,00
Ayudante de construcción	2	\$ 45.000,00	20	\$ 1.800.000,00
Soldador	1	\$ 65.000,00	10	\$ 650.000,00
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3.850.000,00</b>

Fuente: elaboración propia

El análisis económico de este proyecto se enfoca en el ahorro que se puede llegar a obtener al no utilizar gas licuado del petróleo GLP para la cocción de alimentos, debido a que esta actividad es la que representa mayor cotidianidad dentro de un hogar, se estima que en Colombia alrededor de 3,4 millones de hogares utilizan GLP (Precio Del Gas En Pipeta En Colombia, n.d.). Del mismo modo en el análisis económico se considera el ingreso económico que se pueda generar con la venta del fertilizante (biol) que se produce en el biodigestor.

El precio del gas licuado del petróleo GLP puede variar según el contenido del cilindro, la empresa que lo comercializa y la región del país. De acuerdo a GASNOVA Asociación colombiana de GLP, el precio del cilindro de 40 libras el cual es el más común que adquiere un hogar, es en promedio \$ 84.700 COP (Seguridad – GASNOVA, n.d.).

En un hogar colombiano conformado por cuatro personas, dos adultos y dos niños un cilindro de gas de 40 libras, tiene como duración alrededor de 20 días lo que significa que durante un año se estarían adquiriendo aproximadamente 19 cilindros de gas, con un costo por cilindro de \$ 84.700 COP al año la familia conformada por cuatro personas estaría invirtiendo **\$ 1.690.300 COP** en la compra de GLP para la cocción de alimentos. Lo que con la posible implementación del biodigestor se podrían ahorrar este valor.

Como se mencionó anteriormente otro aspecto a tener en cuenta para el análisis económico corresponde al subproducto (fertilizante) que se genera después de terminado el proceso de digestión (tiempo de retención), el cual se puede comercializar y de esta manera generar un ingreso económico adicional. En condiciones óptimas de funcionamiento y operación del biodigestor, este genera la misma cantidad de fertilizante que la carga de materia orgánica que ingresa al biodigestor (Giovanni Espinosa, 2002), dicho lo anterior, la carga calculada que

ingresa al biodigestor corresponde a  $C = 173,25 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$  realizando una conversión de kilogramos día a litros día se obtiene que la producción diaria de fertilizante es de  $173,25 \frac{\text{l}}{\text{día}}$ , obtenida la producción de fertilizante en litros día, se realiza una conversión a galones día puesto que la comercialización de este fertilizante se realiza en esta unidad de medida. Realizado el cálculo se obtiene que la producción de fertilizante es de  $45,7727 \frac{\text{gal}}{\text{día}}$  lo que al año representaría una producción de bioabono de  $14235,3097 \frac{\text{gal}}{\text{año}}$ , para obtener este valor se debe considerar el tiempo de retención el cual fue calculado en 54 días y descontarlos de los días que conforman un año.

Para conocer el precio del bioabono se realiza una comparación con respecto al precio de la urea en específico al contenido de nitrógeno que esta contiene, dado que este elemento es el que más requieren las plantas para su crecimiento, de igual modo la urea es el fertilizante más utilizado en la agricultura, en un saco de 50 kg el cual tiene un costo de \$ 207.700 COP [48] el contenido de nitrógeno corresponde a 23 kg lo que significa que el costo por kg de nitrógeno es de \$ 9030,4347 COP. El biol o bioabono principal subproducto que se comercializaría tiene un contenido de nitrógeno de alrededor del 3,52% (Giovanny Espinosa, 2002), lo que quiere decir que cada kg de biol contiene 0,0352 kg de nitrógeno, ahora si la producción de biol corresponde a  $173,25 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$  se tendría que la producción de nitrógeno es de  $6,0984 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$ .

Como se mencionó anteriormente se realizó la conversión de unidades para conocer la cantidad de biol generado en galones, para lo que se obtuvo un valor de  $45,7727 \frac{\text{gal}}{\text{día}}$ , a partir de este valor y de la producción de nitrógeno calculada en  $6,0984 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$ , se procede a calcular el contenido de nitrógeno por cada galón de biol obteniendo un valor de 0,1332 kg. Conociendo el contenido de nitrógeno por galón de fertilizante y el precio del kg de nitrógeno \$ 9030,4347 COP, se obtiene que el precio del galón de biol es de \$ 1202.8543 COP, lo que al año representaría un ingreso de **\$ 17.123.003,48 COP**.

También dentro del análisis económico se debe considerar el costo anual de operación y mantenimiento que garantice el correcto funcionamiento del biodigestor, este costo corresponde al 5% del costo de la inversión inicial e incrementándose un 5% más sobre el valor de operación y mantenimiento para cada año ([22]).

En la tabla 5-10 se presentan los valores calculados anteriormente de ingresos y egresos que presenta el proyecto.

**Tabla 5-10.** Ingresos y egresos

<b>Ingresos y egresos</b>			
<b>Ingresos</b>		<b>Egresos</b>	
	Valor		Valor
Ahorro anual en la compra de GLP	\$ 1.690.300 COP	Costo de materiales y mano de obra	\$ 9.381.709 COP
Venta anual de fertilizante (Biol)	\$ 17.123.003,48 COP	Costo de operación y mantenimiento	
		Año 1	\$ 469.085,45 COP
		Año 2	\$ 492.539,72 COP
		Año 3	\$ 517.166,71 COP
		Año 4	\$ 543.025,04 COP
		Año 5	\$ 570.176,30 COP

Fuente: elaboración propia

### 5.3 CÁLCULO DEL VAN Y TIR

El VAN y el TIR son dos indicadores financieros los cuales ayudan a determinar la viabilidad y el rendimiento de una inversión. El VAN (Valor Actual Neto) siempre debe ser mayor a cero, lo que indicaría que la recuperación de la inversión se daría durante el periodo de tiempo estipulado. La TIR (Tasa Interna de Rentabilidad o Retorno) indica el valor de la tasa de interés a la cual la VAN es cero, cuanto mayor sea la TIR más rentable será el proyecto en el cual se realiza la inversión, [33]. Generalmente el periodo de tiempo para el cual se evalúa el VAN y el TIR es de 5 años.

Para el cálculo del VAN y el TIR se toma como referencia una tasa de interés del 12%, ya que este es el valor de la tasa de referencia del banco de la república.

**Tabla 5-11.** VAN y TIR

### Calculo VAN y TIR

<b>Datos</b>	Inversión inicial	<b>\$ 9.381.709,00</b>
	Tasa de interés	<b>12%</b>

Periodos (años)	Ingresos	Egresos	Efectivo neto	Valor presente	Flujo de recuperación de la inversión
0			-\$ 9.381.709,00	-\$ 9.381.709,00	-\$ 9.381.709,00
1	\$ 18.813.303,48	\$ 469.085,45	\$ 18.344.218,03	\$ 16.378.766,10	\$ 6.997.057,10
2	\$ 18.813.303,48	\$ 492.539,72	\$ 18.320.763,76	\$ 14.605.200,70	\$ 21.602.257,80
3	\$ 18.813.303,48	\$ 517.166,71	\$ 18.296.136,77	\$ 13.022.828,77	\$ 34.625.086,56
4	\$ 18.813.303,48	\$ 543.025,04	\$ 18.270.278,44	\$ 11.611.092,24	\$ 46.236.178,81
5	\$ 18.813.303,48	\$ 570.176,30	\$ 18.243.127,18	\$ 10.351.640,30	\$ 56.587.819,10

Valor presente acumulado	\$ 65.969.528,10
<b>Valor Actual Neto (VAN)</b>	<b>\$ 56.587.819,10</b>
<b>Tasa interna de retorno (TIR)</b>	<b>195%</b>
<b>Relación Beneficio Costo (B/C)</b>	<b>7,03</b>

Fuente: elaboración propia

Analizando los datos obtenidos del cálculo del VAN y la TIR, el proyecto resulta viable para una posible implementación, puesto el VAN indica que se recuperará la inversión inicial y se genera rentabilidad, del mismo modo la TIR calculada es mucho mayor a la tasa empleada para el análisis, la relación beneficio costo B/C es mayor a uno lo que indica que es un proyecto atractivo para realizar la inversión y la recuperación de la inversión se daría en un año.

## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

- Se puede evidenciar la necesidad de aplicar una gestión de procesos de los residuos orgánicos generados por los porcinos, en las instalaciones agrícolas de la vereda Juracambita del municipio de Zetaquirá, aprovechando el estiércol en un 173,25 kg/día como insumo para un biodigestor con una producción de gas de 7,28 m<sup>3</sup>/día, como mecanismo para reducir el impacto ambiental y generar beneficios económicos a la comunidad.
- Tras el análisis expuesto, el biodigestor permite procesar los desperdicios de estiércol de cerdo para aprovecharlos en su reutilización como abono orgánico, lo cual permitirá realizar una recuperación de ingresos de \$17.123.003.48 COP y como fuente de energía renovable, con un ahorro anual en la no compra de GLP por valor de \$1.690.300 COP, haciendo que la crianza de cerdos sea sostenible, tanto para los usuarios como para el medio ambiente.
- A través del diseño metodológico del biodigestor, se pudo calcular a nivel de detalle, los factores relevantes, dimensiones y elementos requeridos, así como cantidades de material y mano de obra, para obtener un biodigestor que logre un buen desempeño.
- El proyecto resulta viable para una posible implementación, ya que del valor actual neto (VAN) es de \$56.587.819,10 COP y la tasa interna de retorno (TIR) con un 195%, a su vez, una relación de beneficio costo (B/C) del 7,03 aprovechando los desechos contaminantes, recuperando la inversión inicial, generando rentabilidad y desarrollo sostenible, sin dejar de lado, el valor intangible que posee la mitigación del impacto ambiental que este proyecto ofrece.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Acevedo, «Biodigestor de doble propósito - producción e investigación - para residuos de granja porcícola», *rev. ion*, vol. 19, n.º 1, feb. 2010.
- [2] M. Acosta, Pabuena y J. Pasqualino, «Potencial de uso de biogás en Colombia», *Tek. rev. cient.*, vol. 14, n.º 2, pp. 27–33, dic. 2014.
- [3] L. Perez., et al. R. Garcia., A. Tobias., Querol, X., and J Sunyer. Size Fractionate Particulate Matter, Vehicle Traffic, and Case-Specific Daily Mortality in Barcelona, Spain, *Environ. Sci. Technol* 1.43 4707-4714. 2013.
- [4] M. V. Rodríguez, Duarte. Presença de *Enterococcus* spp. resistentes a antimicrobianos advindos dos dejetos de suinocultura brutos e tratados. 2019. 62 f. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.
- [5] A. Merino. Miguel. Osejos, et al. "Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIMA Jipijapa–Ecuador." *Dominio de las Ciencias* 4.1 709-733. 2018.
- [6] R. Rodríguez Camacho. "Proyecto de viabilidad de una planta de biogás." (2012).
- [7] E. Chan Gutierrez. *International biogas applications*. Diss. University College Cork, 2018.
- [8] G.E. Báez Cazares, and Daniel Eduardo Daniel Eduardo Benítez Olives. Diseño y construcción de un biodigestor tipo campana flotante con la utilización de desechos porcinos para la finca "El Recuerdo". BS thesis. 2015.
- [9] L. Cepero, et al. "Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores." *Pastos y Forrajes* 35.2. 219-226. 2012.
- [10] D. Pezo. "Intensificación sostenible de los sistemas ganaderos frente al cambio climático en América Latina y el Caribe: Estado del arte." Enero, 2019.

- [11] Congreso de la República Colombia. Ley 99 de 1993 a nivel Nacional. República Colombia. 1993.
- [12] Congreso de la República Colombia. Ley 697 de 2001 a nivel Nacional. República de Colombia. 2001
- [13] Congreso de la República Colombia. Ley 1715 de 2014 a nivel Nacional. República de Colombia. 2014.
- [14] V. Córdova. & Tarco, R. Diseño de un biodigestor para el tratamiento de los residuos albañales generados en la residencia de la universidad de pinar del río como una alternativa energética para el cocid de alimentos. In *Ingeniería en Electromecánica*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/611>. 2011
- [15] J. A. Guardado-Chacón y A. Arencibia, «Una mirada desde el Movimiento de Usuarios del Biogás (MUB) a la transición energética en Cuba», *Gest. Ambient.*, vol. 24, n.º Supl2, pp. 238–251, nov. 2021.
- [16] L. E. Peña Beltran, and L. K. Peña Ardila. "Diseño de un biodigestor a partir del aprovechamiento del bagazo de la caña panelera y boñiga de caballo para la generación de biogás en un trapiche ubicado en Guavatá, Santander." 2020.
- [17] H. Eggleston, et al. "Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero." *Japón: IPPCC* 2006.
- [18] CLIMÁTICO, CAMBIO. *LA MERCANTILIZACIÓN DE LA ATMÓSFERA*. Diss. Universidad Autónoma de Zacatecas, 2022.
- [19] FAO. Manual de biogás. Santiago de Chile. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2011.
- [20] F. J. Friedrich Energías renovables. Palestra. 2012.
- [21] A. C. GASNOVA. Informe anual del GLP. Asociación Colombiana del GLP. 2021
- [22] R. A González. Planta domo fijo. Scientific Figure on ResearchGate. 2015.
- [23] A. R Gordillo Sierra. Análisis del potencial de aprovechamiento de la porcínaza mediante digestión anaerobia para obtención de biogás en granjas porcícolas colombianas. PROAGRO. 2019.

- [24] C. J. Guardo, Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas. Editorial CUBASOLAR, 2007.
- [25] A. Guebauer. Guía sobre el biogás. Deutsches Biomasse Forschungs Zentrum. 2018.
- [26] G. Espinosa. Cálculo y Diseño de un Biodigestor para Excretas de Cerdos. 2002.
- [27] J. & Hatfield, Utilización de desechos animales: uso eficaz del estiércol como recurso del suelo. Boca Ratón: CRC Press. 1997.
- [28] J. Hilbert. (2006). Manual para la producción de biogás. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- [29] International Institute for Environment and Development. Domestic biogas in a changing China. Can biogas still meet the energy needs of China's rural households? International Institute for Environment and Development (IIED). 2013.
- [30] M. Martínez Lozano. Producción potencial de biogás empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato. Nova Scientia. 2015.
- [31] MinAmbiente. Resolución 1283 de 2016. Ministerio de Ambiente. 2016.
- [32] Ministerio de Energía. Decreto 2501 de 2007. Prácticas con fines de Uso Racional y Eficiente de Energía Eléctrica. 2017.
- [33] M. P. Muñoz, VAN y TIR. <http://www.mpuga.com/Docencia/Fundamentos de Finanzas/Van y Tir> 2011.
- [34] M. Patience. Estiércol de gallinas para impulsar la economía china. BBC. 2012.
- [35] A. A. Pezo Valles. Producción de Energía Renovable (biogás) a partir del estiércol del ganado bovino en la Estación Experimental Agraria El Porvenir – INIA. Análisis de situación actual y mejoras. Navarra: Centro de Información en Energías Renovables. 2011.
- [36] Porkcolombia. Resumen de evolución solicitado por el proyecto. Reseña de biogestores. 2021.

- [37] F. González. Valoración de efectos ecotoxicológicos de oxitetraciclina en organismos. Departamento de Toxicología y Farmacología. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. 2016.
- [38] Precio del gas en pipeta en Colombia subirá a partir del 1 de julio. (n.d.). Retrieved, from <https://www.semana.com/economia/macroeconomia/articulo/golpe-al-bolsillo-precio-del-gas-en-pipeta-en-colombia-subira-a-partir-del-1-de-julio/202207/>. January 4, 2023
- [39] RedBioLAC. Red de Biodigestores para Latinoamérica y el Caribe. Revista RedBioLAC, Cuarta Edición. 2019.
- [40] N. Rodríguez. La contaminación del suelo: Una realidad oculta. Alianza mundial por el suelo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2019.
- [41] L. A. Rodríguez Perdigón. VIABILIDAD TÉCNICA PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS – FORSU. <http://repository.ean.edu.co/handle/10882/1560>. 2014.
- [42] S. Samayoa. Guía implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas. SNV. 2012.
- [43] SENA. Del estiércol de cerdo al biogás. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. 2014.
- [44] Seguridad - GASNOVA. (n.d.). Retrieve from <https://www.gasnova.co/sobre-el-qlp/seguridad/#>. January 4, 2023,
- [45] E. Toala Moreira. Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2013.
- [46] UPME. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión: guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. In *Documento ANC-0603-19-01*. [http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias\\_alternativas/normalizacion/GUIA\\_PARA\\_LA\\_IMPLEMENTACION\\_DE\\_SISTEMAS\\_DE\\_P](http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/GUIA_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_SISTEMAS_DE_P)

[RODUCCION DE BIO.pdf](#). 2003.

- [47] UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA & TECSOL. ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE CONVERSIÓN A BIOGÁS DE LA BIOMASA EN COLOMBIA Y SU APROVECHAMIENTO. ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE CONVERSIÓN A BIOGÁS. 2018.
- [48] Urea Granulada 50 Kg | Fertilizantes Agro | Tierragro Colombia. (n.d.). Retrieved, from <https://www.tierragro.com/products/urea-granulada-50-kl-nutrimon-fertilizantes-agro>. January 4, 2023.
- [49] J. D. Valadez, J. D. Biodigestores como Mitigación del Impacto Ambiental. BM Editores. 2020.
- [50] P. Villegas Aguilar. Development and perspectives of biogas technology in underdeveloped countries. IV International Workshop on Energy and Environment. 2016.
- [51] B. J. D. Weber. Producción de biogás en México. México: Red Mexicana de Bioenergía. 2016.
- [52] B. J. Torres Pijal. "Construcción de un biodigestor a escala de laboratorio para producción de biogás con digestión anaerobia seca a partir de residuos sólidos domésticos," B.S. Thesis, 2019.
- [53] L.A. Guamanquispe Alulema, L.A. Perdomo Zapata; Implementación de un biodigestor para generar biogás a partir del excremento de la gallina en la granja avícola aves del Cotopaxi. UTC. Latacunga. 106p. 2019.
- [54] W. Arrieta. Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado (Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánico-Eléctrica). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, 2016
- [55] M. García, D. N. Galvis Villamizar, y P. A. Gómez Monsalve, «REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: BIOGENERADOR, GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR BIOMASA A PARTIR DEL ESTIÉRCOL DE CERDOS», *Conciencia y Tec.*, vol. 4, n.º 1, pp. 96–100, feb. 2022.

