

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

PERSPECTIVA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON BIO-METANO A PARTIR DE DESECHOS ORGÁNICOS(VERDURAS)

**INVESTIGACIÓN DE LAS CAPACIDADES, TIPOS DE
TECNOLOGÍAS, MODELACIÓN DE LA OPERACIÓN,
DISPONIBILIDAD EN EL MERCADO ECUATORIANO, PRECIOS Y
DEMÁS CARACTERÍSTICAS, DE MICRO GENERADORES A GAS
NATURAL CAPACES DE USAR, COMO COMBUSTIBLE, EL GAS
BIO-METANO PRODUCIDO A PARTIR DE DESECHOS DE
VERDURAS.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

LUIS ALEXANDER SUQUILLO TIPAN

luis.suquillo@epn.edu.ec

DIRECTOR: PAUL FABRICIO VASQUEZ MIRANDA

paul.vasquez@epn.edu.ec

DMQ, marzo 2023

CERTIFICACIONES

Yo, Luis Alexander Suquillo Tipan declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Luis Alexander Suquillo Tipan

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Luis Alexander Suquillo Tipan, bajo mi supervisión.

Dr. Ing. Paúl Fabricio Vásquez Miranda
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

LUIS ALEXANDER SUQUILLO TIPAN

PAÚL FABRICIO VASQUEZ MIRANDA

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi padre y hermano, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, la mayoría de mis logros se los debo por el apoyo incondicional que siempre recibo. Me formaron con disciplina y reglas, pero al final me motivaron para alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a mi padre y hermano por su comprensión y estímulo constante, además el apoyo para formar parte de esta prestigiosa universidad.

A mi grupo de amigos, que han sido un gran apoyo para mejorar día tras día, ya sea en el ámbito educativo y emocional.

A mi tutor el Dr. Paul Vásquez, quien con su enseñanza y consejo me permitió desarrollar este trabajo de la mejor manera.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|------|
| CERTIFICACIONES..... | I |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA..... | II |
| DEDICATORIA..... | III |
| AGRADECIMIENTO..... | IV |
| ÍNDICE DE CONTENIDO..... | V |
| RESUMEN | VII |
| ABSTRACT | VIII |
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 Objetivo general..... | 2 |
| 1.2 Objetivos específicos | 2 |
| 1.3 Alcance | 3 |
| 1.4 Marco teórico | 3 |
| 1.4.1 Fuentes de energía | 3 |
| 1.4.2 Beneficios del uso de fuentes de energía renovables | 4 |
| 1.4.3 ¿Qué es la biomasa? | 5 |
| 1.4.4 Procesos de conversión de la biomasa vegetal en energía eléctrica 5 | |
| 1.4.5 Tecnologías para la conversión a energía eléctrica..... | 7 |
| 1.4.6 Formulación y evaluación de proyectos..... | 9 |
| 2. METODOLOGÍA..... | 11 |
| 2.1 ANÁLISIS DE LA CONVERSIÓN DE BIOMASA EN ENERGÍA. | 12 |
| 2.1.1 Biodegradación de la biomasa | 12 |
| 2.1.2 Generación de energía eléctrica basada en biomasa..... | 13 |
| 2.2 TEGNOLOGIAS UTILIZADAS EN EL BIODIGESTOR | 16 |
| 2.2.1 Aplicación del biogás..... | 16 |
| 2.2.2 ¿Qué es un biodigestor? | 17 |
| 2.2.3 Características de un biodigestor..... | 18 |
| 2.2.4 Conversión del biogás en energía eléctrica | 18 |
| 2.2.5 Tipos de biodigestores..... | 19 |
| 2.2.6 Almacenamiento del Efluente | 22 |
| 2.2.7 Manejo del Gas | 23 |
| 2.2.8 Conversión del biogás en energía eléctrica | 24 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.2.9 | Modo de operación de la máquina..... | 35 |
| 2.3 | ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS COSTOS DE DIFERENTES TECNOLOGIAS DE MICRO GENERADORES..... | 38 |
| 2.3.1 | Factores técnicos involucrados en el análisis financiero..... | 38 |
| 2.3.2 | Costos..... | 38 |
| 2.3.3 | Proveedores disponibles en el mercado ecuatoriano..... | 42 |
| 3. | RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 44 |
| 3.1 | Resultados | 44 |
| 3.2 | Conclusiones..... | 46 |
| 3.3 | Recomendaciones..... | 47 |
| 4. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 48 |
| 5. | ANEXOS..... | 52 |

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza la investigación de la generación eléctrica con bio-metano a partir de desechos orgánicos (verduras), debido a esto se debe analizar las diferentes tecnologías para la generación eléctrica y sus diferentes características de operación, por lo cual se va a tomar las siguientes consideraciones sobre: el estudio de la biomasa, tecnologías de micro generadores y los diferentes precios.

En base a lo anterior, se estudia a profundidad la tecnología de la biomasa a fin de comprender como se obtiene el bio-metano, para posteriormente analizar las diferentes tecnologías tanto de biodigestores como de micro generadores.

PALABRAS CLAVE: Bio-metano, Biomasa, Biodigestores.

ABSTRACT

In the present work, the investigation of electricity generation with bio-methane from organic waste (vegetables) is carried out. Due to this, the different technologies for electricity generation and their different operating characteristics must be analyzed, for which to take the following considerations about the study of biomass. Micro generator technologies and different prices.

Based on the above, a thoughtful study of biomass technology has been performed in order to understand how bio-methane is obtained, with the aim of carrying out an analysis not only of biodigesters but also of micro generators.

KEY WORDS: Bio-methane, Biomass, Biodigesters.

1 INTRODUCCIÓN

La gran problemática mundial que se vive actualmente es la dependencia de los combustibles fósiles. Tomando en cuenta esto, la gran mayoría de gobiernos buscan introducir nuevas tecnologías amigables con el medio ambiente.

Por lo cual, una integración de energías renovables no convencionales en los sistemas eléctricos de potencia de transmisión y distribución dependerá del apoyo del gobierno para la implementación de plantas de biomasa.

La generación con bio-metano o gas renovable se obtiene a partir del tratamiento de residuos orgánicos vegetales, este gas es similar al gas fósil que se obtiene en la naturaleza y, por tanto, puede sustituirlo. [1]

El bio-metano es una versión avanzada del biogás, se la obtiene realizando la fermentación de los desechos orgánicos vegetales precedentes de la actividad agrícola, obteniendo como resultado un gas renovable. Este proceso es uno de los más prometedores para las energías renovables. [1]

Tiene varias ventajas y similares propiedades que el gas natural en comparación a combustibles fósiles, como es la disminución de emisiones de óxidos de nitrógeno y partículas, por lo que ayuda a descarbonizar el sector gasista, y ayuda contra la a luchar contra el cambio climático. [1]

El proceso de producción del bio-metano consiste en los siguientes pasos:

- Digestión anaeróbica se produce el bio-metano por microbios en un contenedor sin oxígeno.
- Bio-metano generado se realiza una depuración para aumentar la concentración de metano logrando producir un combustible parecido al gas natural.
- Con el producto final el gas es transportado y volcado a instalaciones de reserva.

El bio-metano generado es almacenado en contenedores a una presión constante, donde se tiene varios elementos que son: bombas o sopladores de gas, tuberías, regulador de presión, medidor del flujo de gas y drenajes de condensado.

El bio-metano debe ser manipulado igual que otro gas natural, y se debe tener un mantenimiento constante a las tuberías. Las tuberías de biometano son de cobre, acero o plástico, para poder eliminar el agua de condensación y obtener 100% de biogás en el proceso.

Las diferentes tecnologías para la generación de energía eléctrica a partir de bio-metano son varias como: motores-generadores, turbinas a gas y microturbinas. Mediante una investigación de cada elemento se analizará el modo de operación de cada máquina para el correcto funcionamiento con el biogás.

Lo que distingue de cada tecnología son las características técnicas como: corriente nominal, eficiencia, voltaje y potencia. Se realiza el análisis del bio-metano a energía eléctrica con diferentes fórmulas matemáticas, con la ayuda de la herramienta computacional (Matlab) para encontrar la potencia eléctrica de distintas tecnologías.

La evaluación técnico-económica del proyecto es analizar los diferentes costos como: directo, indirecto, fijo y variable. Para determinar la inversión de la implementación de un micro generador, así como proveedores en el Ecuador para el funcionamiento correcto del micro generador en una planta de biomasa.

1.1 Objetivo general

Analizar los tipos de tecnologías existentes para la generación de energía eléctrica a partir de los gases que pueden producir las verduras, para posteriormente establecer el equipamiento y costos necesarios para el proyecto actual, mediante datos bibliográficos y proyectos de generación con biomasa.

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar una Investigación a partir de datos bibliográficos de la biodegradación de los diferentes tipos de gases producidos por verduras, y realizar una clasificación estadística de la cantidad de energía eléctrica que se puede producir a partir de cada biogás.
2. Realizar una Investigación a partir de datos bibliográficos de las tecnologías para la conversión de biogás vegetal a energía eléctrica, mediante la comparación de diferentes procesos de conversión y modos de operación, obteniendo un informe con las características de cada generador.
3. Establecer los principales materiales y equipamientos necesarios para el correcto funcionamiento del generador, teniendo en cuenta el costo y los diferentes proveedores disponibles en el mercado ecuatoriano, relacionados con proyectos de generación con biomasa a partir de desechos de verduras.

1.3 Alcance

En el desarrollo de este trabajo se tiene como primera parte el análisis de diferentes gases que se producen por los desechos vegetales, donde se estudiarán aspectos generales como la biodegradación. También investigar medidas estadísticas de la energía eléctrica que se puede producir con el biogás. Modelos matemáticos para la estimación de la energía eléctrica a partir del biogás y una comparación de cada gas con respecto al rendimiento de la máquina al producir energía eléctrica.

Una vez detallados los diferentes gases se dedicará un capítulo en analizar las tecnologías para la conversión de biogás vegetal a energía eléctrica utilizando criterios energéticos y características del generador como voltaje nominal, factor de potencia, eficiencia y revoluciones por minuto. También investigar el respectivo modelamiento de la máquina en una herramienta computacional (Matlab) y, por último. Se detallarán los modos de operación y procesos para la conversión de biogás a energía eléctrica.

Finalmente se analizarán los principales elementos, así como los equipos para el correcto funcionamiento del generador, teniendo en cuenta precios y los diferentes proveedores disponibles en el mercado, teniendo como referencia plantas de generación ya incorporadas en el Ecuador.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Fuentes de energía

Las fuentes de energía son proporcionadas por la naturaleza para producir energía, por ejemplo: calor, luz, electricidad y trabajo mecánico. [2]

Energías no renovables

Las energías no renovables se denominan a recursos limitados que se encuentran en la naturaleza. Se regeneran en una forma lenta o se consumen en su totalidad. [2]

Se puede enumerar fuentes de energías no renovables, por ejemplo:

1. Carbón
2. Petróleo
3. Gas natural
4. Energía nuclear

Energías renovables

Las energías renovables se denominan a recursos ilimitados e inagotables que se encuentran en la naturaleza. La desventaja es el costo del equipo para obtener la energía. [2]

Se puede enumerar fuentes de energías renovables, por ejemplo:

1. Eólica
2. Hidráulica
3. Solar
4. Biomasa
5. Geotérmica
6. Mareomotriz

1.4.2 Beneficios del uso de fuentes de energía renovables

Uno de los beneficios más importantes es para combatir el cambio climático y reducir sus efectos más desastrosos. Para reducir el efecto de los gases de invernadero en los procesos de generación de energía. El beneficio económico y social es importante al proveer empleos (fabricantes de accesorios y equipos, diseñadores, instaladores, desarrolladores), también la disminución de las tarifas de luz, gas y agua. En caso de la energía eléctrica la facilidad de proveer a comunidades remotas, y su desarrollo a dichas comunidades. [3]



Figura 1. Fuentes de Energía renovables [4]

1.4.3 ¿Qué es la biomasa?

Es la energía renovable a base de materia orgánica, que se origina en el proceso espontáneo y biológico, para la producción de energía eléctrica o térmica. Al tener una alta sostenibilidad a la naturaleza y eficiencia energética alta es una opción viable, para múltiples sectores industriales. [5]

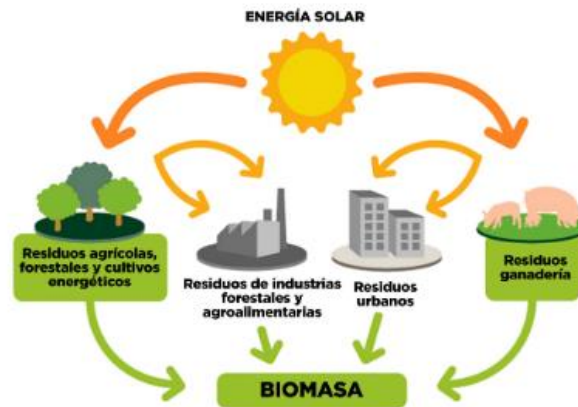


Figura 2. Proceso de la biomasa [6]

1.4.4 Procesos de conversión de la biomasa vegetal en energía eléctrica

El proceso de la biomasa vegetal se la puede hacer en cuatro pasos básicos obteniendo electricidad y calor como: [7]

Combustión

La biomasa vegetal se somete a altas temperaturas con un porcentaje excesivo de oxígeno, es un método antiguo pero efectivo para la obtención de calor industrial o energía eléctrica. [7]



Figura 3. Proceso de la combustión. [8]

Pirolisis

La biomasa vegetal se debe someter a altas temperaturas (500 °C) sin la presencia de oxígeno, lo que se obtiene son líquidos semejantes a los hidrocarburos y carbón vegetal. [7]

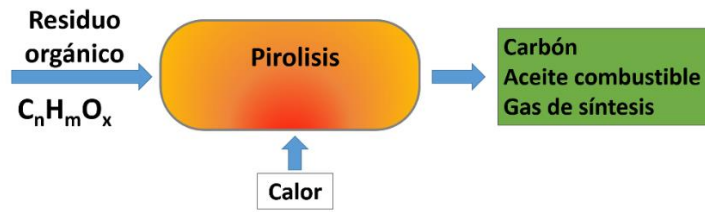


Figura 4. Proceso de la pirolisis. [9]

Gasificación

En este método se tiene cantidades de oxígeno limitadas a temperaturas muy altas, para conseguir la combustión completa. Se obtiene gas pobre que es utilizado para producir electricidad y vapor. [7]

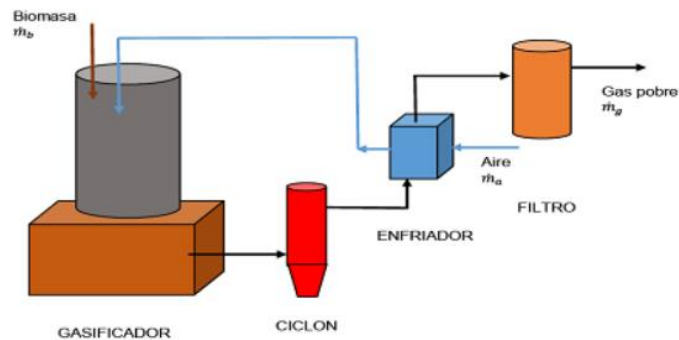


Figura 5. Proceso de la gasificación. [10]

Digestión anaeróbica

Este método se basa en la utilización de múltiples microorganismos que degradan compuestos simples de alta densidad energética. Con instalación de fermentadores o digestores, en donde se procede a obtener bio-metano que sirve para la generación de energía eléctrica. [7]

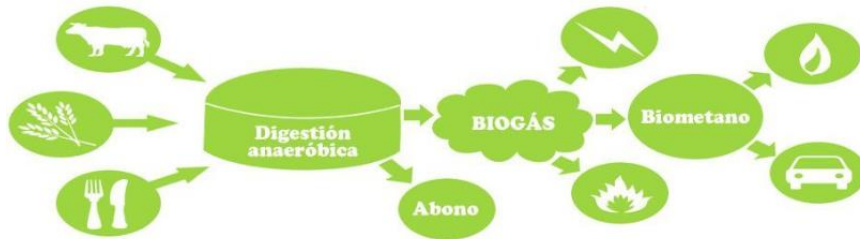


Figura 6. Digestión anaeróbica. [11]

Cogeneración.

Es el proceso donde se genera energía eléctrica, calor y mecánica, que utiliza la energía del calor producida por el biogás y mediante los turbogeneradores se produce la energía eléctrica. [7]

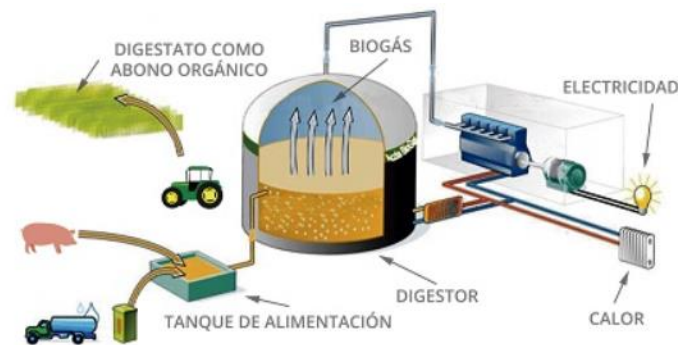


Figura 7. Cogeneración. [12]

1.4.5 Tecnologías para la conversión a energía eléctrica

Se puede clasificar las diferentes tecnologías para la conversión de bio-metano en generación eléctrica como:

Motor a diésel

Este tipo de motor es utilizado para grandes potencias al tener una capacidad alta, su funcionamiento se debe a un motor térmico de combustión interna con autoencendido al tener altas temperaturas derivadas de la compresión del aire. Los motores a diésel no requieren una chispa para entrar en funcionamiento, sino que cuentan con un número de bujías que van subiendo la temperatura, para obtener un arranque y encender a la máquina. [13]

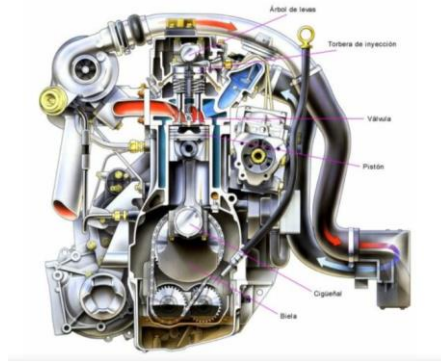


Figura 8. Motor a diésel. [13]

Motor a gasolina

Se puede definir como máquinas termodinámicas que convierte energía química de la ignición, como resultado de la mezcla de combustible y del aire, se genera energía mecánica para diferentes aplicaciones. [14]

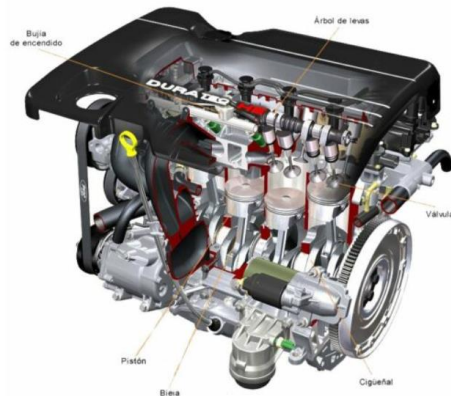


Figura 9. Motor a gasolina. [14]

Turbina a gas

Su funcionamiento se basa al ingresar el biogás a través de la admisión de la turbina, lo que produce que el compresor aumente la presión del aire para mezclarse con el combustible y posteriormente encenderse, por lo que se crea un gas caliente que se expande para producir energía mecánica. [15]

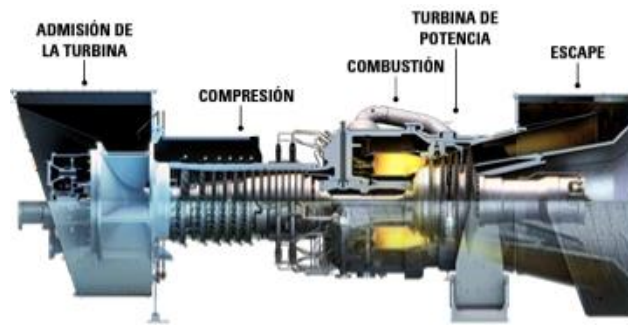


Figura 10. Turbina a gas. [15]

Micro generador

Un micro generador es una máquina rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica, esto se debe a la intervención de dos elementos principales que son: el rotor y estator. Los micro generadores se diferencian del tipo de corriente que producen que son: alternadores y dinamos. [16]



Figura 11. Micro generador. [17]

1.4.6 Formulación y evaluación de proyectos

Para realizar el análisis de la formulación y evaluación de proyectos se debe conocer las siguientes definiciones.

Costos directos e indirectos

- Costos directos

Son los costos que conforman todos los costos y gastos invertidos en el proyecto en el proceso de producción de un producto o servicio, se los conoce como costos directos

debido a que se emplean directamente en la producción del proyecto, obteniendo un análisis de rentabilidad en específico del proyecto. [18]

- Costos indirectos

Se refiere al proceso de producción que vende un proyecto, y que no se puede asignarse y medirse directamente a una de las etapas o a un producto concreto sino a un criterio de imputación coherente. [19]

Costos fijos y variables

- Costos fijos

Los costos fijos son los gastos de un proyecto que debe pagar de forma inmediata. Es decir, son costos bimestrales, mensuales o anuales que debe cumplir sin contar con su número de ventas alcanzadas. [20]

- Costos variables

Los costos variables son valores que varían dependiendo de la cantidad de servicios o bienes del proyecto que produce. Lo que significa que, a mayor sea el volumen de los productos o de la producción, mayor será los costos variables. [21]

2. METODOLOGÍA

El presente trabajo se enfoca en investigar y analizar, las capacidades, tipos de tecnologías, modelación de la operación, disponibilidad en el mercado ecuatoriano, precios y demás características, de micro generadores a gas natural capaces de usar, como combustible, el gas bio-metano producido a partir de desechos de verduras.

Se plantea la metodología denominada Desk Research, el cual se basa en la recolección de información y análisis de datos ya publicados o datos secundarios, para la realización del componente se divide en tres etapas: recopilación de información bibliográfica de antecedentes, análisis de antecedentes y, por último, obtención de resultados.

Como primera etapa, se tiene la recopilación de información bibliográfica de antecedentes, para determinar la energía que se puede producir a partir del gas producidos por verduras, también las diferentes tecnologías para la generación eléctrica a partir de biomasa “biodigestor” y el financiamiento del proyecto y sus factores técnicos involucrados.

Para la segunda etapa, se realiza un análisis de antecedentes de la biodegradación y tratamientos de la materia prima “verduras” para la producción de la energía eléctrica. Modelos matemáticos y caracterización energética de la biomasa las tecnologías utilizadas en el biodigestor, también modelamiento en “Matlab”, constitución y modos de operación y una investigación de los equipos para el funcionamiento del generador y, por ultimo. Factores técnicos involucrados en el análisis financiero y los diferentes proveedores disponibles en el mercado ecuatoriano.

Por último, se realizará una comparación de semejanzas y diferencias de cada gas con respecto a la eficiencia, costo y potencia eléctrica generada de la máquina. Para poder establecer qué tipo de tecnología es el más factible para un proyecto de generación eléctrica a partir de biomasa en el Ecuador.

2.1 ANÁLISIS DE LA CONVERSIÓN DE BIOMASA EN ENERGÍA.

2.1.1 Biodegradación de la biomasa

La biodegradación tiene la capacidad metabólica para mineralizar o transformar impurezas orgánicas en sustancias menos peligrosas y en mínimas cantidades, de tal manera se pueda manipular fácilmente en procesos biogeoquímicos naturales. [22]

2.1.1.1 Degradación aeróbica

La degradación aeróbica se basa en la descomposición de toxinas orgánicas por medio de microorganismos en presencia de oxígeno, lo que produce una oxidación completa en el material orgánico, obteniendo un compuesto inorgánico. Los productos finales de esta degradación es el dióxido de carbono y agua. Un ejemplo claro se lo puede encontrar en diferentes granjas al realizar la descomposición obteniendo compost. [23]

En este proceso se tiene un contenedor descubierto, lo que permite una oxidación natural a la materia orgánica. [24]

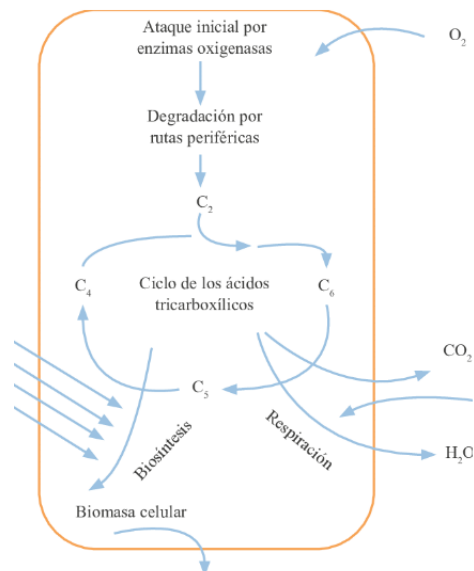


Figura 13. Proceso de digestión aeróbica. [25]

2.1.1.2 Degradación anaeróbica

Se produce mediante la acción de varios microorganismos, es decir, sin oxígeno. Este tipo de degradación trabaja a condiciones mesófilas o termófilas. En la condición termófila actúa la mayor degradación de la materia y generación del biogás. La degradación anaeróbica se utiliza en sectores como la agricultura, ganadería y aguas residuales. [24]

En este proceso se tiene un contenedor cerrado llamado " biodigestor " es el método más común para la producción de biogás. [24]

Los productos finales de la degradación anaeróbica:

Biogás: Mezcla de gases para producir energía eléctrica

Lodo estabilizado: se lo utiliza como fertilizante

Como se puede observar el proceso de digestión anaeróbica:

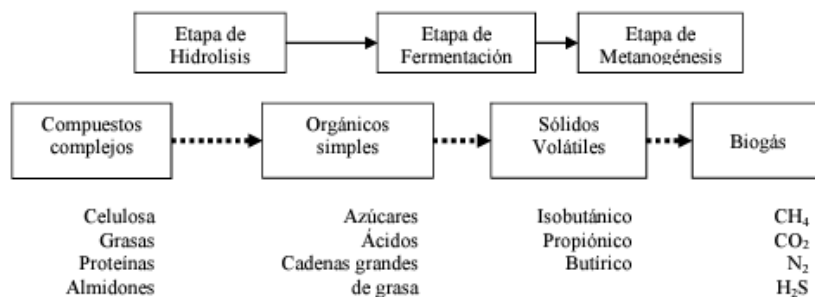


Figura 14. Proceso de digestión anaeróbica [6]

El estudio de este trabajo se basa en la investigación de la cantidad de bio-metano que se puede obtener de la biomasa de desechos vegetales para generar energía eléctrica. El bio-metano obtenido es una mezcla de combustibles y todo dependerá del material orgánico utilizado para su generación y sus condiciones de operación. [24]

2.1.2 Generación de energía eléctrica basada en biomasa

La obtención de energía eléctrica a partir de biomasa se puede conseguir de dos formas, el primer caso indirectamente, mediante el proceso de productos industriales, y el segundo caso, mediante plantas de generación eléctrica. [26]

Debido al ambiente con un porcentaje alto de humedad y el menor poder calorífico de la biomasa, la generación con biomasa requiere altas inversiones, con sus diferentes elementos para producir energía eléctrica. [27]

Sin embargo, la generación con biomasa aporta estabilidad al sistema eléctrico de potencia al ser un recurso que no depende de la estacionalidad, y que ayuda al suministro energético durante todo un periodo del día. [27]

2.1.2.1 Porcentaje de energía de diferentes verduras

Composición química

La composición química dependerá del material orgánico (Vegetal), también de las propiedades del suelo y su respectiva fertilización empleado durante el cultivo. Esta definición depende de la materia prima inicial y del manejo de aditivos. [28]

Poder calorífico

El poder calorífico es la cantidad de energía resultante por cada kg de combustible quemado, se puede clasificar en dos tipos de poder calorífico (inferior PCI y superior PCS). Estos parámetros se obtienen mediante procesos en una bomba calorimétrica y su medida es en kcal/kg o kJ*kg. [28]

Restos hortícolas (vegetales)

Los residuos hortícolas son conocidas como fuentes de energía renovables más convenientes para el futuro en zonas donde se genera en gran cantidad, pero tiene 2 limitaciones que dificultan su estimación energética. [28]

- **Contenidos de humedad:** Reduce considerablemente el poder calorífico del material orgánico con respecto a otros.
- **Problemas de suministros:** Esto se debe a la estacionalidad de la generación del material orgánico.

| Especie | (MJ/kg) | Cenizas (% m.s) | Humedad (%) | S (mg/kg) | Cl (mg/kg) |
|-----------|---------|--------------------|----------------|-----------|------------|
| Calabacín | 14.9 | 3.42 | 93.04 | 4.7 | 31.4 |
| Pepino | 14.6 | 3.5 | 89.36 | 5.6 | 37.0 |
| Berenjena | 19.6 | 2.64 | 83.64 | 14.6 | 96.8 |
| Tomate | 17.5 | 3.04 | 89.54 | 9.7 | 64.0 |
| Alubias | 20.7 | 2.88 | 85.52 | 5.0 | 32.9 |
| Pimiento | 18.0 | 3.56 | 80.91 | 14.8 | 98.2 |

Figura 15. Características energéticas de 6 verduras. [28]

Investigaciones sobre la energía de producción de biogás derivado de destríos y purines de diferentes hortalizas (vegetales), señalan que la implementación de pimientos y tomates a los purines tiene un efecto de crecimiento del 50%, la producción del bio-metano en comparación con digestores solamente con purines. Los datos expuestos alientan a construir digestores a más escala y de manera progresiva, para la producción de energía eléctrica con desechos de verduras. [28]

2.1.2.2 Modelos matemáticos para la estimación de energía de diferentes verduras.

Composición química

La biomasa vegetal está compuesta por tres partes: (orgánica, inorgánica y agua), durante la combustión se quema los diferentes materiales obteniendo ceniza y residuos sólidos. Al realizar el proceso químico de la biomasa se obtiene diferentes gases como: carbono (C), nitrógeno (N), hidrogeno (H), azufre (S) y en diferentes casos cloro (Cl). [28]

Contenido de humedad

Se denomina humedad relativa a la relación entre la masa de agua contenida por kilogramo de material seco. La humedad de la biomasa orgánica se puede medir en base húmeda (H), es la variable que se debe considerar en el peso húmedo de la leña húmeda (Ph) y el peso seco (Po), para evaporar el agua presente. Como se puede observar en las siguientes ecuaciones. [28]

$$h = \frac{Ph - Po}{Po} \quad (1)$$

$$H = \frac{Ph - Po}{Ph} \quad (2)$$

Porcentaje de cenizas

Es la materia solida no inflamable por kilogramo de materia, para tener un porcentaje de relación con respecto a la materia seca, lo más bajo posible. [28]

Poder calorífico

El valor calórico por unidad de masa representa la energía disponible en la biomasa y se expresa en unidad física de energía (joule por kilogramo), es decir la energía de la biomasa orgánica (vegetal) se quema por completo, el poder calorífico superior (PCS) es el calor que se aprovecha al 100% en la reacción de la combustión, y el poder calorífico inferior (PCI), es producido sin utilizar la energía de diferentes procesos. [28]

El poder calorífico inferior se determina por medio del PCS, extrayendo el calor del agua como se puede observar en la siguiente ecuación. [28]

$$PCI = PCS - 2.5(9H + H_2O) \quad (3)$$

Donde:

PCI = Poder calorífico inferior.

PCS = Poder calorífico superior.

2,5 = Temperatura de condensación del agua a 0°C.

9 = Kilos de H₂O que se necesitan para oxidar un kilo de H₂.

H = Cantidad de hidrógeno en el combustible.

H₂O = Cantidad de humedad en el combustible.

2.2 TEGNOLOGIAS UTILIZADAS EN EL BIODIGESTOR

2.2.1 Aplicación del biogás

El biogás se produce por la biodegradación de la materia orgánica (vegetal) que sirve como gas combustible, como se puede observar en la siguiente figura. [24]

| Componente | Fórmula química | Residuos agrícolas y ganaderos | Lodos de EDAR | Residuos Industriales | Vertederos de RSU |
|---------------------|------------------|--------------------------------|---------------|-----------------------|-------------------|
| Metano | CH ₄ | 50-80 % | 50-80 % | 50-70 % | 45-65 % |
| Gas carbónico | CO ₂ | 30-50 % | 20-50 % | 30-50 % | 34-55 % |
| Nitrógeno | N ₂ | 0-1 % | 0-3 % | 0-1 % | 0-20 % |
| Oxígeno | O ₂ | 0-1 % | 0-1 % | 0-1 % | 0-5 % |
| Hidrógeno | H ₂ | 0-2 % | 0-5 % | 0-2 % | 0-1 % |
| Monóxido de carbono | CO | 0-1 % | 0-1 % | 0-1 % | - |
| Ácido sulfúrico | H ₂ S | 100-7000 ppm | 0-1 % | 0-8 % | 0,5-100 ppm |

Figura 16. Composición del biogás [24]

La producción de biogás por medio del biodigestor genera un efluente que se puede aplicar como abono genérico. El biogás generado se puede utilizar para producir energía eléctrica por medio de centrales de generación a gas natural. [29]

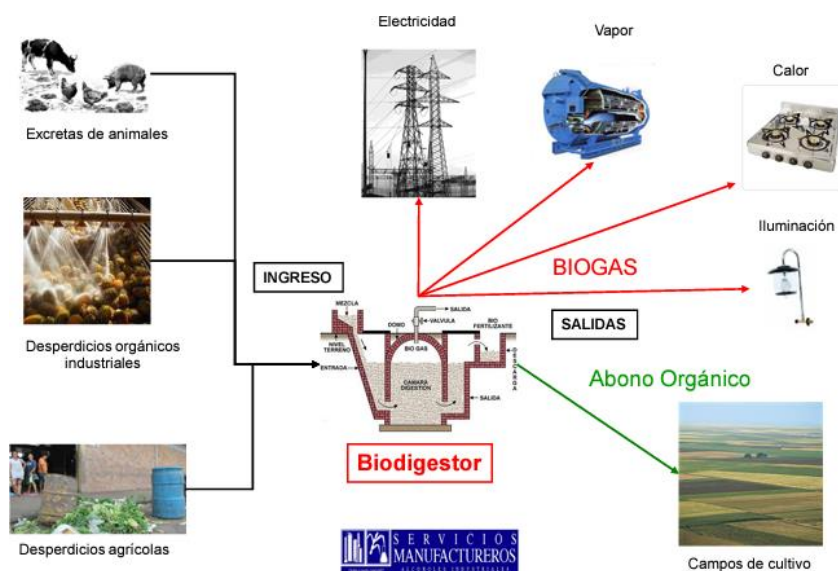


Figura 17. Proceso de la producción de biogás. [29]

2.2.2 ¿Qué es un biodigestor?

El biodigestor es un tanque o contenedor que contiene residuos orgánicos (vegetales). En su interior se genera la descomposición (anaeróbica) de la materia orgánica (vegetal) para generar biogás, su aplicación principal es generar energía eléctrica, mediante microturbinas o generadores a gas. [30]

Partes de un biodigestor

- Tanque de homogenización
- Bomba

- Tanque de biodigestión
- Agitador
- Tuberías de captación de biogás
- Contenedor para guardar el biogás
- Tuberías y válvulas, cierre y desagüe, filtro (seguridad)
- Equipos de combustión
- Generador de calor o energía eléctrica

2.2.3 Características de un biodigestor

Para obtener un buen funcionamiento para la generación de biogás, los biodigestores deben cumplir con las siguientes características. [24]

- Térmicamente aislado, para no tener cambios de temperatura.
- Accesibilidad para diferentes mantenimientos.
- Debe ser Hermético.
- Debe tener un proceso para romper las natas que se generan.
- La alimentación del biodigestor debe tener una presión constante dentro de la cámara y alimentación diariamente.

2.2.4 Conversión del biogás en energía eléctrica

El biogás es un componente que sirve para alimentar diferentes motores de combustión interna, que están conectados a un generador ya sea a gasolina o diésel. Para un funcionamiento correcto de los motores se debe eliminar el ácido sulfúrico (H₂S) por diferentes filtros y evitar mezclar el agua. [24]

Si se desea trabajar en motores de combustión interna el biogás no necesariamente debe tener presiones altas, por ende, el motor puede funcionar con presiones bajas por el motivo que succiona el gas. [24]

En la siguiente figura se puede observar el proceso de producción de biogás a energía eléctrica y térmica. [24]

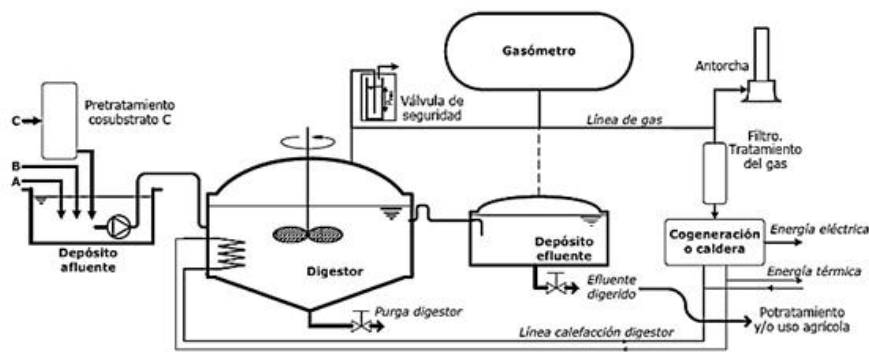


Figura 18. Proceso de la producción de biogás a energía. [24]

2.2.5 Tipos de biodigestores

Se puede encontrar varios tipos de biodigestores, al tener un objetivo principal de convertir la materia orgánica vegetal en fertilizante y biogás. [31]

2.2.5.1 Biodigestor de domo flotante

Este tipo de biodigestor consiste en tener un recipiente móvil para el gas y su estructura es subterránea. Consiste en mantener el biogás con una presión constante, el biogás cuando se recolecta el tambor se baja o levanta de acuerdo con el biogás almacenado, por último, el porcentaje de biogás recolectado dependerá del tamaño del biodigestor. [24]

Implementación

Los más actuales biodigestores de domo flotante se lo construyen con fibra de vidrio reforzado en plástico para no tener problemas de corrosión. Primero se construye el fondo de ladrillo y la pared del reactor con un refuerzo de hormigón, luego se implementa la tapa flotante que atrapa al biogás producido que se cae y sube con una guía central, por último, se tiene las tuberías que alimentan al reactor principal. Este tipo de biodigestor trabaja a presión constante y su operación es sencilla, también la alimentación de los desechos orgánicos vegetales puede ser continuas o discontinuas. El precio aproximado es de 717 USD para un biodigestor de 6 – 10 m³ que produce de 1 – 2 m³ diarios de biogás vegetal. [32]

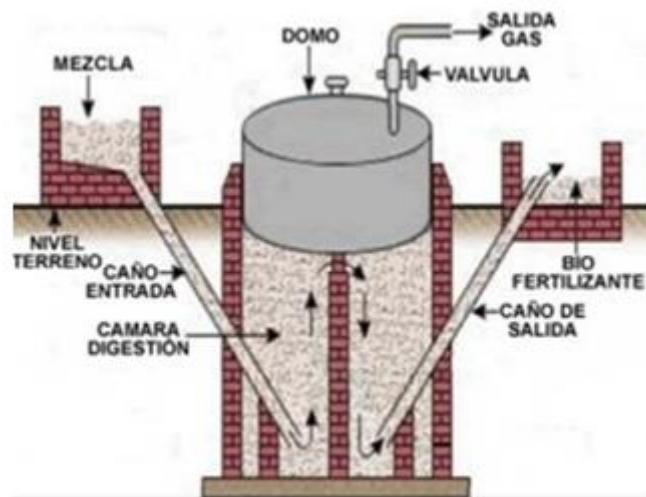


Figura 19. Biodigestor de domo flotante. [24]

2.2.5.2 Biodigestor de estructura flexible

Es un biodigestor que fue diseñado para dar solución a los granjeros que no tenían medios para conseguir otros tipos de tecnologías, su operación es sencilla y es muy utilizada en África, Asia y América latina. Tiene una alta aplicación para la degradación de desechos vegetales y el excremento del ganado, se conforma con una bolsa que contiene materia prima y a medida pasa el tiempo el desecho se descompone y el gas va inflando la bolsa, sin exceder la presión que se está trabajando. [24]

Implementación

Este tipo de biodigestores requiere de una baja inversión generalmente se lo construye con polietileno, como primer paso se tiene un tubo plástico de 15 a 30 cm de diámetro, que se utiliza para la entrada de desechos, y los residuos que deben sumergirse al menos a 15 cm de profundidad, también es necesario elaborar un pozo para limpiar el material no deseado, y por último, se tiene la bolsa de almacenamiento o fermentador que se ubica en la parte superior del biodigestor. El tamaño de la bolsa dependerá de los desechos orgánicos vegetales que se van a fermentar. [33]

El costo aproximado es de 550 USD para un biodigestor de 9 – 10 m³, con un tiempo de vida de 15 años. [33]



Figura 20. Biodigestor de estructura flexible. [34]

2.2.5.3 Pozo séptico

Este tipo de biodigestor es utilizado para almacenar aguas servidas, también tiene aplicaciones para la biodegradación para los desechos orgánicos vegetales, se recolecta la materia orgánica del agua residual para proceder a separar mediante un proceso de sedimentación, y finalmente el proceso de la biodigestión anaeróbica lo que separa el barro inofensivo del biogás. [35]

Implementación

Es uno de los biodigestores más antiguos, hasta la actualidad cumplen con su objetivo que es producir biogás, primero se construye un pozo que contenga agua y otros elementos, para proceder a descomponer el material orgánico, segundo una tapa que permita almacenar el biogás generado, por último, dos tuberías de entrada y salida para los desechos orgánicos y el fertilizante producido. Este tipo de tecnología tiene una inversión de 300 a 400 USD para una profundidad de 12 pies. [24]

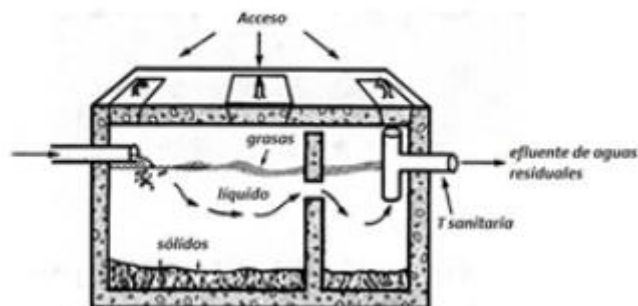


Figura 21. Biodigestor pozo séptico. [24]

2.2.5.4 Digestor con cúpula de polietileno y tanque de almacenamiento.

A medida que pasa el tiempo se inventan nuevas tecnologías para la obtención de biogás, este tipo de biodigestor mezcla los materiales con diferentes productos innovadores. Con el objetivo de reducir los costos, tiene una forma semiesférica de polietileno que sirve para almacenar el biogás producido. [34]

Implementación

Este tipo de tecnología es utilizada en varios países de Sudamérica, al no requerir de una alta inversión en su construcción. Se procede a elaborar un tanque de piedra o de ladrillo que servirá como base para la cúpula de poliestireno, también contiene válvulas de entrada y de salida, para los desechos orgánicos y del biogás producido. Un biodigestor de 4 m³ tiene un precio de 600 USD y una vida útil de 10 años. [24]



Figura 22. Digestor con cúpula de polietileno y tanque de almacenamiento. [24]

2.2.6 Almacenamiento del Efluente

Al realizar el proceso de la digestión anaerobia se obtiene dos productos que son el efluente líquido y el biogás. El efluente líquido es una solución orgánica que tiene valor como fertilizante y puede ser utilizado en irrigación de cultivos y pastos. [36]

El efluente líquido que se obtiene del biodigestor se puede aprovechar para producir biomasa que sirve de alimento para el ganado. Este producto se logra combinando el sistema del biodigestor con lagunas de duckweed, que es un macrófito con un elevado contenido de proteína. [36]

2.2.7 Manejo del Gas

El biogás producido debe removerse del biodigestor y trasladarse hacia un sitio donde se almacena. El sistema del manejo del biogás contiene: bombas o sopladores de gas, tuberías, regulador de presión, medidor del flujo de gas, sistema de remoción de ácido sulfhídrico y drenajes de condensado. [36]

Las tuberías del biogás están hechas de cobre, caucho, acero o plástico, para una instalación con mangueras de caucho se debe tener en cuenta que son permeables con los rayos del sol y se vuelven rápidamente porosas. Mientras más larga es la tubería del biogás mayor es la caída de presión, por lo que se debe adaptar a la línea un soplador. La tubería debe tener un sistema de eliminación del agua de condensación ya que el biogás está saturado, como se puede observar en la figura 2 sistemas separadores de agua. [27]

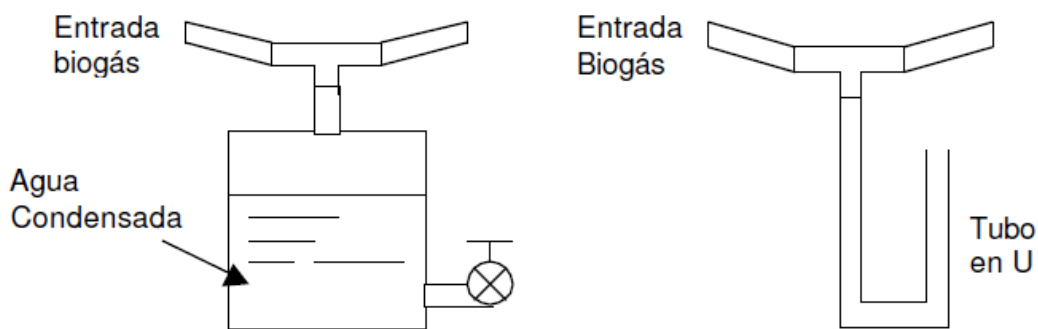


Figura 23. Separador de agua con válvula de drenaje y Tubo en U. [36]

La compresión del biogás posibilita el funcionamiento en motores de combustión interna y en turbinas de gas, así como la compresión del biogás se divide en bajas, medias y altas presiones que tienen un rango de 10 a 230 bar. [28]

2.2.7.1 Diferentes salidas y niveles de compresión

Se realiza un estudio general donde se observa el abastecimiento y utilización del biogás con diferentes niveles de presión, la salida de la planta debe contar con diferentes niveles de presión de modo que puedan proporcionar el uso directo, se puede observar una configuración de abastecimiento de bio-metano y biogás con una presión variable de 4 a 90 bar. [37]

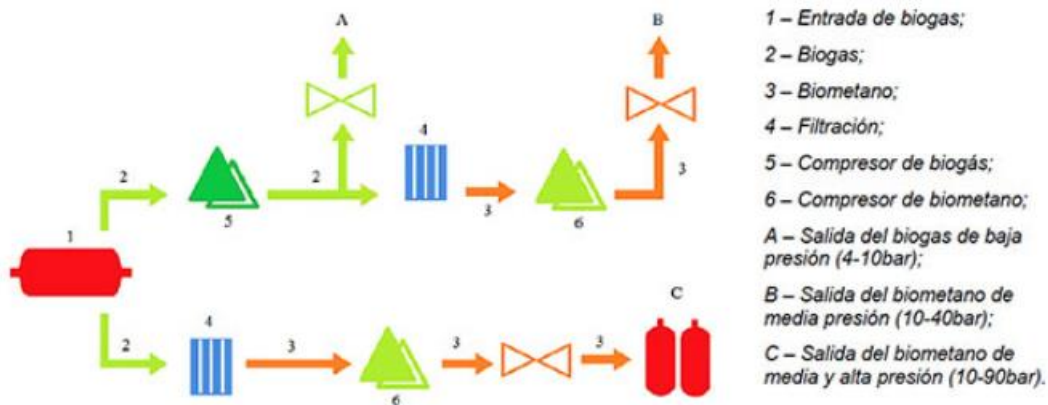


Figura 24. Salidas y abastecimiento del gas. [37]

2.2.7.2 Tratamiento y conversión de biogás en bio-metano

Para obtener el bio-metano son procesos de purificación del biogás, primero se retira el dióxido de carbono hasta llegar a un porcentaje de metano que sea próximo a del gas natural. Existe varios métodos que se pueden utilizar, como el polietileno glicol que tiene una alta solubilidad del dióxido de carbono y del sulfuro de hidrogeno. La quema del biogás sin realizar la purificación y sin la remoción del sulfuro de hidrogeno, produce el dióxido de azufre lo que causa la lluvia acida, por lo que es necesario realizar la purificación del biogás para obtener bio-metano. [37]

2.2.8 Conversión del biogás en energía eléctrica

Para obtener energía eléctrica con biogás (bio-metano) se alimenta un motor de combustión interna a un generador o una microturbina, para una selección de tecnología de transformación se elegirá dependiendo la potencia que se va a generar. [15]

2.2.8.1 Motores a gasolina

Estos tipos de motores pueden funcionar a gas si se realiza diferentes cambios, consiste en colocar el carburador una "Tee " y un filtro de aire por donde se suministrará el gas. [24] Al reemplazar dichos elementos el 100% de la gasolina por biogás se obtiene un motor a gas.

Se debe tener las siguientes consideraciones

- Mantener una presión del gas lineal o constante.
- Realizar el respectivo mantenimiento al filtro de aire.
- Si está operando el motor con el biogás, no enviar gasolina a la cámara de combustión.

Adaptación

Para adaptar el motor a biogás se implementó un dispositivo en forma de T, con varios accesorios de PVC y con el grosor de la tubería que depende del flujo de biogás, para regular el flujo y la presión. Esto permite el paso del biogás al carburador que se incorporó con la tubería PVC, por último, se implementa una llave de paso de plástico para regular el ingreso de aire. [38]

Tipos motores a gasolina

Motor de 9 hp GX270

Tabla 1. Características GX270T. [39]

| | |
|---------------------------------|-------------------------|
| Especificaciones Técnicas | GX270T |
| Cilindraje | 270 CC |
| Potencia | 9 hp - 3600rpm |
| Torque máximo | 1,95 Kgf*m - 2500rpm |
| Filtro de aire | 3 etapas |
| Sistema de arranque | Manual |
| Capacidad de aceite cárter | 1,1 litros |
| Combustible | Gasolina simple o común |
| Capacidad Tanque de combustible | 6 litros |



Figura 25. Motor GX270T. [38]

Motor de 5 hp GX 140 MAX

Tabla 2. Características GX 140 MAX. [40]

| | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| Especificaciones Técnicas | GX140 |
| Sistema de arranque | Sistema de retroceso |
| Desplazamiento | 144 cm ³ |
| máx. caballo de fuerza | 3,6 kW - 4000 rpm |
| Sistema de arranque | Magneto transistorizado |
| Combustible | Gasolina sin plomo (86 octanos) |
| Capacidad Tanque de combustible | 3,6 litros |

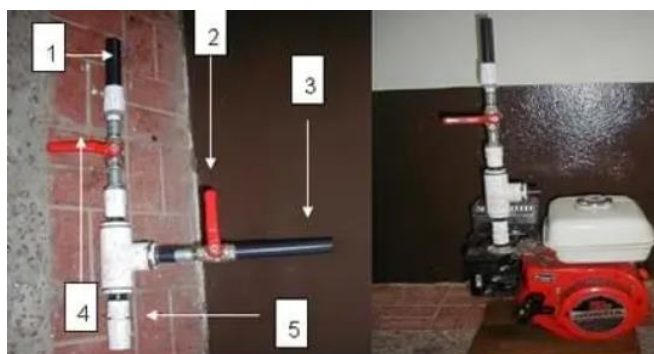


Figura 26. Motor GX 140 MAX. [41]

2.2.8.2 Motores a diésel

Se debe tener en cuenta que el biogás es consumido en un rango de 75% - 85% y el diésel en un 15% - 25%, este tipo de tecnología requiere modificaciones para que puedan operar con biogás, es de suma importancia la necesidad de cantidades mínimas de diésel para asegurar la ignición en el motor. [15]

Adaptación

Para adaptar el sistema a biogás el motor se debe enchufar por medio de tubos PVC a la salida al biogás y directamente al tubo de admisión del aire del motor. Se tiene una mezcla del biogás con el diésel en la cámara de combustión, luego se realiza subprocesos, primero el motor cuando recibe el biogás por el ingreso de aire se acelera y el gobernador entra en operación, para reducir la cantidad de diésel suministrado a la cámara de combustión, obteniendo una estabilidad de potencia y aceleración del motor. [15]

Tipos motores a diésel

Motor Runner K4F-D

Tabla 3. Características Runner K4F-D. [42]

| | |
|---------------------------|------------------------------|
| Especificaciones Técnicas | K4F-D |
| Tipo de motor | Enfriamiento hidráulicamente |
| Salida de potencia | 13 – 28 kW |
| Cumplimiento de emisiones | Etapa 3A - UE |
| Disposición del cilindro | En línea |
| Número de cilindros | 4 |
| Diámetro x carrera | 78x92 mm |
| Desplazamiento | 1.758 litros |



Figura 27. Motor Runner K4F-D. [42]

Motor Aries 1062

Tabla 4. Características Motor Aries 1062. [43]

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Especificaciones Técnicas | Aries 1062 |
| Tipo de motor | A 4 tiempos |
| Salida de potencia | 18,4 – 23 – 27,6 CV |
| Cumplimiento de emisiones | 2 |
| Velocidad de giro | 1.200 - 1500 - rpm |
| Número de cilindros | 2 |
| Diámetro x carrera | 78x92 mm |

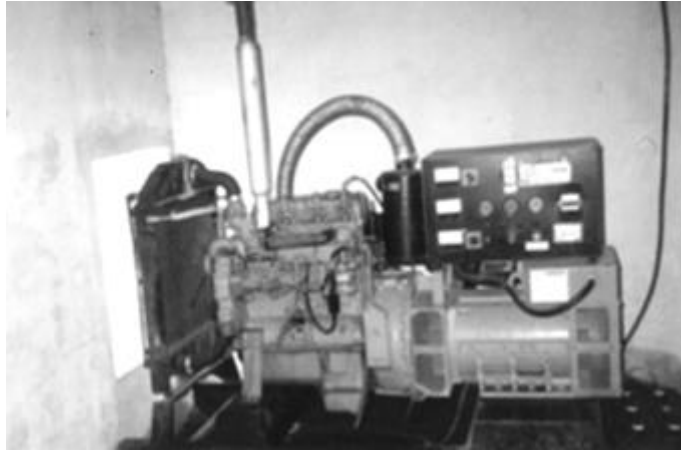


Figura 28. Motor Aries 1062. [43]

2.2.8.3 Motores a gas

Estos tipos de motores son semejantes a los de combustión interna, la diferencia más notable es la admisión del gas mediante una válvula que ajusta la presión, por lo que reemplaza el gas licuado de petróleo por 100% de biogás vegetal. [24]

Realizando diferentes investigaciones se determinó que el biogás es más barato que el aceite combustible, por dicha razón un motor a gas tiene una ventaja económica sobre un motor de aceite, como se puede observar en la siguiente figura. [44]

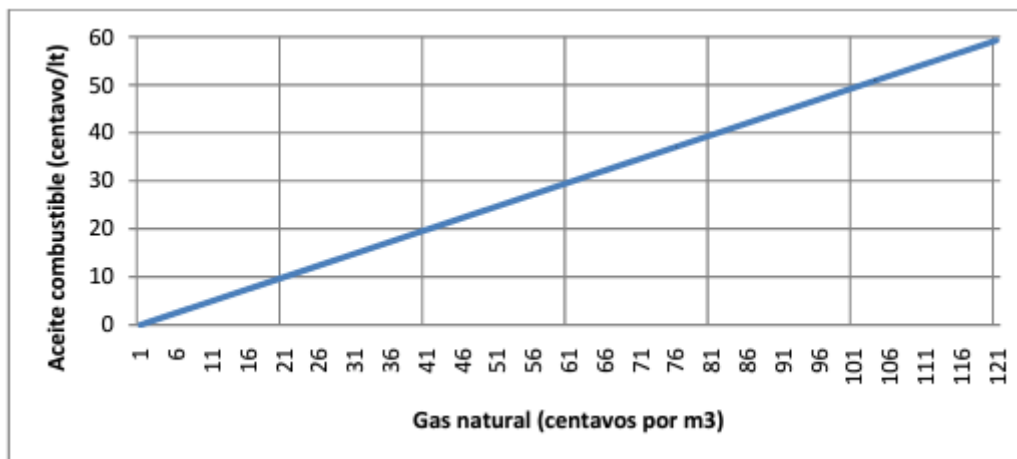


Figura 29. Gráfica del costo relativo. [44]

Tipos de motores a gas

J312 Jenbacher

Tabla 5. Características J312 Jenbacher. [45]

| | |
|---------------------------|----------------|
| Especificaciones Técnicas | J312 Jenbacher |
| Generación eléctrica | 657kW – 1062kW |
| Generación térmica | 635kW – 1399kW |
| Eficiencia eléctrica | 39.40% |
| Eficiencia térmica | 50.40% |
| Voltaje | 480V – 4.16kV |
| Tipo de combustible | Flexible |



Figura 30. J312 Jenbacher. [45]

Motor GNV CMI/CWI

Tabla 6. Características GNV CMI/CWI. [46]

| | |
|---------------------------|-------------|
| Especificaciones Técnicas | GNV CMI/CWI |
| máx. caballo de fuerza | 195-230 hp |
| Desplazamiento | 6.3 litros |
| Catalizador | 3 vías |



Figura 31. Motor GNV CMI/CWI. [46]

2.2.8.4 Microturbina

Son turbinas a gas de tamaño mediano y pequeño, con un rango de generación de 25 y 500 kW, tienen un gran rango de aplicaciones en plantas industriales y biomasa para el manejo de bombas, compresores y generación eléctrica. [44]

El aire comprimido tiene una presión de 15 a 30 bar, que reacciona con el biogás combustible inyectado. La combinación de los gases calientes produce una expansión en la turbina impulsando así el generador. [44]

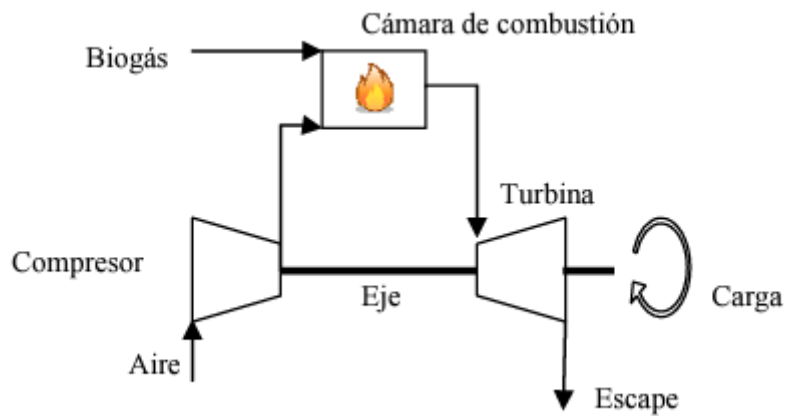


Figura 32. Esquema turbina a gas. [46]

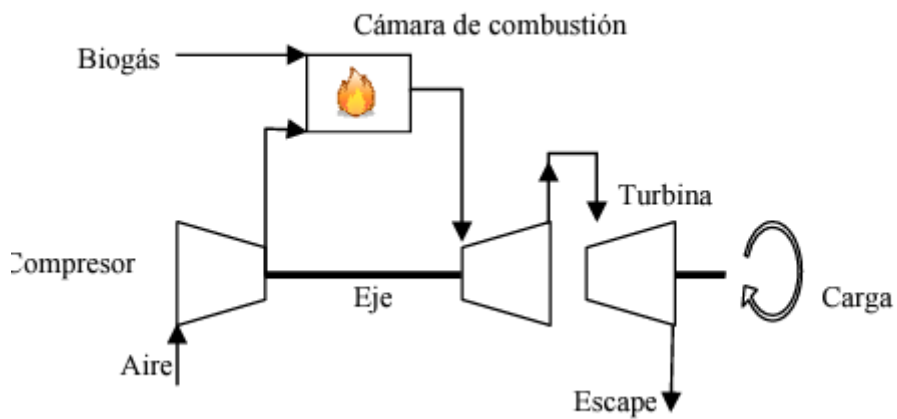


Figura 33. Turbina a gas de dos ejes. [46]

Para incrementar la eficiencia de la turbina se debe recalentar los gases de la primera turbina para recuperar el calor, en el sistema de enfriamiento en los compresores y el recalentamiento de la primera turbina son varios elementos que conforman la generación de energía eléctrica. [44]

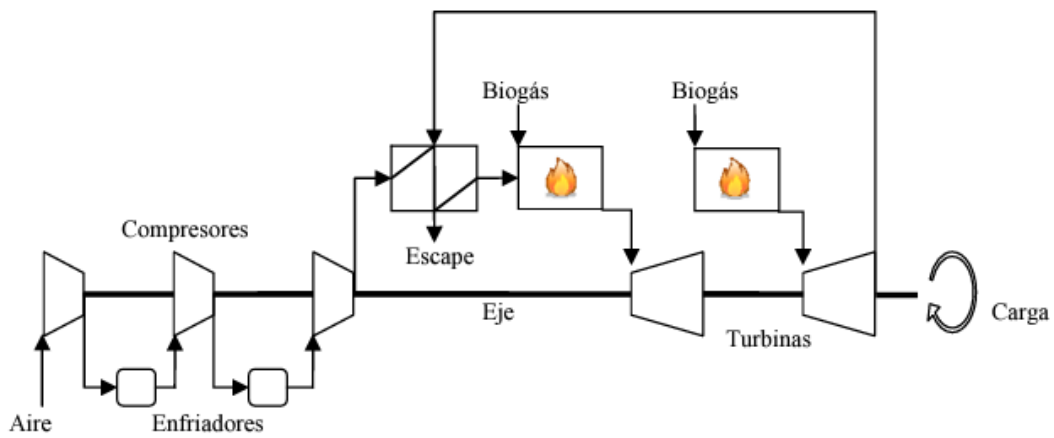


Figura 34. Sistema completo. [46]

Tipos de microturbina

C200S Capstone

Tabla 7. Características C200S Capstone [47]

| Especificaciones Técnicas | C200S Capstone |
|---------------------------|----------------|
| Generación eléctrica | 200kW |
| Eficiencia eléctrica | 33.00% |
| Voltaje | 400/480 AC |
| Tipo de combustible | Bio-Metano |
| frecuencia | 50/60 Hz |



Figura 35. C200S Capstone. [47]

CW251 B10

Tabla 8. Características CW251 B10. [48]

| Especificaciones Técnicas | CW251 B10 |
|---------------------------|------------|
| Generación eléctrica | 41.2kW |
| Eficiencia eléctrica | 34.00% |
| Voltaje | 220 AC |
| Tipo de combustible | Bio-Metano |
| frecuencia | 50/60 Hz |

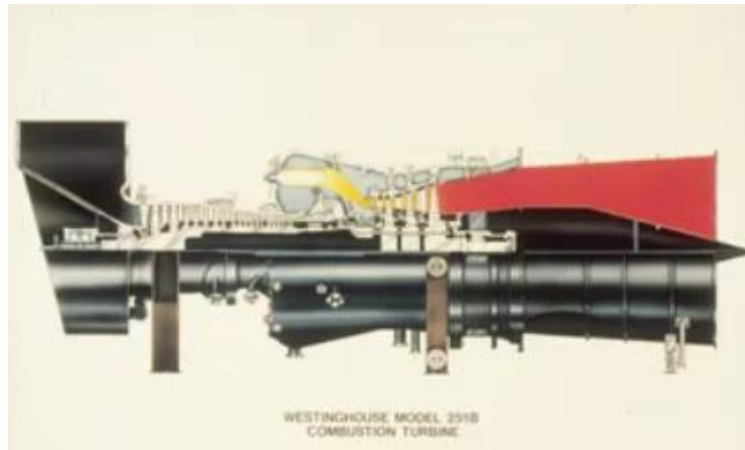


Figura 36. CW251 B10. [48]

También existen turbinas de gas a baja temperatura, que son utilizadas en plantas de generación con biomasa.

| TIPO DE TURBINA | POTENCIA (MW) | EFICIENCIA (%) |
|-------------------------|---------------|----------------|
| Allison, Ruston | 5 | 28 |
| Mitsubishi, MW151 | 21 | 24 |
| GE, Tipo 6 | 43 | 33 |
| Westinghouse, CW251 | 50 | 33 |
| GE, Tipo 6 ^a | 70 | 31 |

Figura 37. Turbinas a gas de baja temperatura. [44]

2.2.8.5 Micro generadores

Una vez analizadas las tecnologías para la obtención de energía mecánica se acopla a un micro generador, las máquinas más comunes para la generación eléctrica con bio-metano son los generadores sincrónicos. [36]

Se les llamas generadores sincrónicos porque tiene dos campos magnéticos, uno en el estator por la presencia de corriente alterna y el otro en el rotor, que es generado por corriente continua. [36]

Los micro generadores utilizan excitatrices sin escobillas para suministrar corriente directa de campo, que contienen un campo montado en el estator y una armadura en el eje del rotor. La salida trifásica se rectifica a corriente directa por medio de un circuito rectificador y alimenta al circuito de campo de la corriente principal. [36]

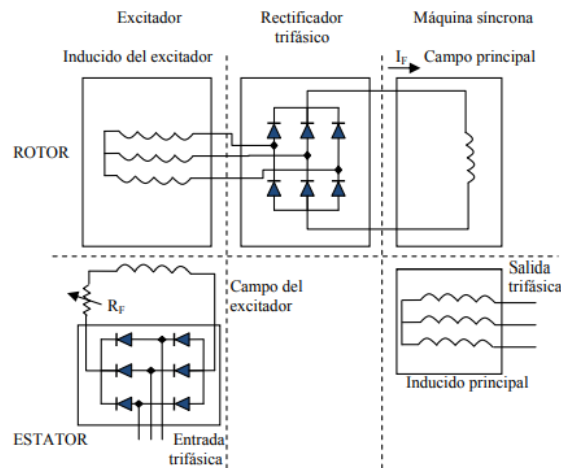


Figura 38. Micro generador con excitador sin escobillas. [44]

Tipos de micro generadores

HTG-250GF

Tabla 9. Características HTG-250GF. [42]

| Especificaciones Técnicas | HTG-250GF |
|---------------------------|------------|
| Generación eléctrica | 250kW |
| Eficiencia eléctrica | 38.00% |
| Voltaje | 400/230 AC |
| Tipo de combustible | Bio-Metano |
| Corriente nominal | 450 A |
| frecuencia | 50/60 Hz |



Figura 39. HTG-250GF. [42]

Tabla 10. Características HTD-50GF. [49]

| | |
|---------------------------|----------------|
| Especificaciones Técnicas | HTD-50GF |
| Generación eléctrica | 10-1000kW |
| Eficiencia eléctrica | 34.00% |
| Voltaje | 400-230 AC |
| Tipo de combustible | Bio-Metano |
| Corriente nominal | 18-1800A |
| Motor | Sin escobillas |
| frecuencia | 50/60 Hz |

**Figura 40.** HTD-50GF. [42]

2.2.9 Modo de operación de la máquina

2.2.9.1 Análisis del biogás (bio-metano) generado hacia la obtención de energía eléctrica.

Para obtener la cantidad de energía eléctrica a partir del biogás como combustible, primero se debe conocer los compuestos que integran el biogás y en qué porcentaje o concentraciones se encuentran, y las ecuaciones que relaciona el biogás con la generación de energía eléctrica. [50]

Se puede determinar los compuestos del biogás que permite conocer el poder calorífico que contiene el gas natural, si el biogás tiene más del 50% de metano es un combustible útil. [50]

Para calcular la cantidad de potencia que se obtiene al utilizar el biogás se debe conocer los valores de energía, o la cantidad de energía térmica que se necesita en el proceso, donde la ecuación de la potencia de generación es: [50]

$$P_{gen} = E_{BGI} * \gamma * \eta \quad (4)$$

Dónde:

P_{gen} : Potencia Generada.

E_{BGI} : Energía Térmica que se incorpora a la Planta.

γ : Eficiencia de la planta de recuperación de biogás.

η : Eficiencia eléctrica de la tecnología escogida.

Se debe establecer variables o valores de la ecuación anterior, empezando con el valor de la energía térmica que se incorpora a la máquina, que se produce por el volumen (V) por el poder calorífico inferior (PCI). [50]

$$E_{BGI} = PCI_{BG} * V \quad (5)$$

De la ecuación anterior se debe establecer el valor de la cantidad de poder calorífico inferior del biogás (PCI_{BG}), el cual es la concentración de bio-metano por el poder calorífico inferior del metano ($PCI_{BIO-METANO}$) [50]

$$PCI_{BG} = \%BIO - CH_4 * PCI_{BIO-METANO} \quad (6)$$

Por lo que se establece en la siguiente tabla el poder calorífico del bio-metano inferior y superior.

Tabla 11. Poder calorífico del bio-metano [51]

| Poder Específico del Bio-metano | |
|---------------------------------|----------------------------|
| PCI Inferior | 37011.312 $\frac{kJ}{m^3}$ |
| PCI Superior | 40611.96 $\frac{kJ}{m^3}$ |

Ya establecido el valor ($PCI_{BIO-METANO}$) y los valores de las ecuaciones anteriores podemos reemplazarlas en la ecuación principal y obtener energía eléctrica. [50]

$$P_{gen} = \%BIO - CH_4 * PCI_{BIO-METANO} * V * \gamma * \eta \quad (7)$$

Es necesario convertir el valor obtenido a kW. [50]

$$1\text{kJ} = 2.778 \cdot 10^{-4} \text{ kWh}$$

La eficiencia eléctrica de la tecnología utilizada y la eficiencia de recuperación del sistema, son valores que se definen al final obteniendo la potencia eléctrica. La eficiencia eléctrica depende de la tecnología, por ejemplo: motor-generador a biogás, microturbina y turbina a gas, también la eficiencia de recuperación depende del sistema que se ha implemente para poder extraer el bio-metano. [50]

Código en Matlab

Se realizó un comando con la herramienta computacional (Matlab), como ejemplo se incorporó 6 tipos de tecnologías para la conversión de bio-metano en potencia eléctrica en kW. A partir de datos iniciales de porcentaje de bio-metano, volumen y eficiencia de la planta.

Anexo I

Resultados del programa en (Matlab)

Tabla 12. Resultados de las diferentes tecnologías.

| Tipo | Descripción | BIO-CH4 (%) | Volumen (m3) | γ (%) | P (kW) |
|---------------------|-----------------|-------------|--------------|--------------|--------|
| J312 Jenbacher | Motor-Generador | 80 | 1500 | 70 | 3.4028 |
| TCG 3016 V08 X | Motor-Generador | 70 | 1000 | 60 | 1.848 |
| C200S Capstone | Microturbina | 60 | 800 | 90 | 1.465 |
| CW251 B10 | Turbina a gas | 50 | 1200 | 50 | 1.048 |
| GE tipo 6 | Turbina a gas | 70 | 1200 | 70 | 1.995 |
| Westinghouse, CW251 | Turbina a gas | 80 | 1500 | 70 | 2.850 |

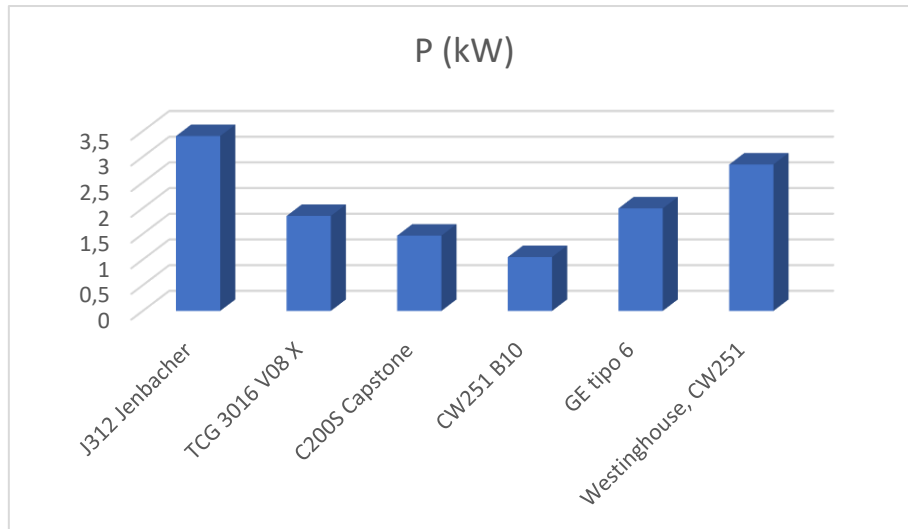


Figura 41. Gráfica de la tecnología vs la potencia eléctrica (kW).

Realizando el análisis de los resultados el programa en (Matlab) permite obtener la potencia eléctrica de las diferentes tecnologías, variando los datos iniciales. Obteniendo diferentes valores de salida.

2.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS COSTOS DE DIFERENTES TECNOLOGIAS DE MICRO GENERADORES.

2.3.1 Factores técnicos involucrados en el análisis financiero

Los factores técnicos son fundamentales para evaluar el desempeño y la situación económica, y aplicar los respectivos correctivos para solventar al proyecto. [52]

2.3.2 Costos

Son los gastos que se realizan para el funcionamiento e implementación del micro generador, para este análisis se toma como referencia 6 diferentes tecnologías.

2.3.2.1 Costos directos e indirectos

Costos directos

Los costos directos se relacionan con la venta o producción de los servicios o productos, similar a los costos de amortización. [53]

Para el correcto funcionamiento del generador se necesita materiales primarios como:

- Tubería PVC para el bio-metano
- Soporte para generador
- Válvulas
- Cable # 10 AWG
- Interruptor principal

Costos indirectos

Los costos indirectos son gastos que no tiene una relación directamente con la venta o producción de los servicios o productos. [53]

En el proyecto un costo indirecto es el control, dirección y mantenimiento del generador.

2.3.2.1 Costos fijos y variables

Costos fijos

Los costos fijos se producen de forma fija. Independientemente que no exista producción o venta de servicios o productos. [53]

En el proyecto se considera un costo fijo al micro generador.

Costos variables

Los costos variables son los que tiene una variación según la producción de sus servicios o productos.

2.3.2.1 Estudio de integración y financiamiento de las diferentes tecnologías de micro generadores.

Inversión del proyecto

Los materiales y equipos necesario para la implementación del generador se presentan en la siguiente tabla, en la que se especifica la cantidad de cada material y el precio actual en el mercado.

Para realizar los diferentes cálculos se toma como ejemplo: la tecnología J312 Jenbacher.

| Material | Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Total |
|------------------------------|----------|--------|-----------------|------------|
| Tuvo PVC 110 mm | 1 | u | 11.3 | 11.3 |
| Válvula bola paso total 1 | 1 | u | 10.4 | 10.4 |
| Válvula bola paso total 2 | 1 | u | 67.3 | 67.3 |
| Manguera 1/2 | 4 | m | 0.2 | 0.8 |
| Termómetro analógico | 1 | u | 25 | 25 |
| Manómetro de 100 psi | 1 | u | 3.51 | 3.51 |
| Mano de obra | 1 | u | 150 | 150 |
| Motor generador | 1 | u | 14000 | 14000 |
| Cable #10 AWG | 30 | m | 2.64 | 79.2 |
| Instalación eléctrica | 1 | u | 80 | 80 |
| Dispositivo de transferencia | 1 | u | 25 | 25 |
| | | | Subtotal | 14452.51 |
| | | | IVA 12% | 133.5012 |
| | | | Total | 14586.0112 |

Figura 42. Inversión de la tecnología

A continuación, se puede observar la recaudación de energía eléctrica que no se factura en los siguientes 10 años, en este periodo de funcionamiento del micro generador y cuando pierde las características nominales de operación.

Tabla 13. Valores de energía eléctrica no facturada

| Año | kW-h | Precio del kW-h (\$) | Total |
|-----|------|----------------------|-------|
| 1 | 700 | 0.105 | 630 |
| 2 | 850 | 0.105 | 765 |
| 3 | 950 | 0.105 | 855 |
| 4 | 1000 | 0.105 | 900 |
| 5 | 1100 | 0.105 | 990 |
| 6 | 1200 | 0.105 | 1080 |
| 7 | 1230 | 0.105 | 1107 |
| 8 | 1360 | 0.105 | 1224 |
| 9 | 1400 | 0.105 | 1260 |
| 10 | 1500 | 0.105 | 1350 |

Con los datos determinados, se procede a realizar el análisis financiero de las diferentes tecnologías, mediante el cálculo del TIR y VAN, que ayudaran a determinar la tecnología es rentable y viable.

Cálculo del TIR y VAN para el micro generador J312 Jenbacher.

Para este análisis se considera diferentes tasas porcentuales de operación y mantenimiento que dependen del equipamiento, también se estima una tasa de interés activa de 5% para energía eléctrica.

Para encontrar el valor del TIR y VAN, se realizó con la ayuda de la herramienta computacional EXCEL.

| Cálculo del TIR y VAN | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------|---------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Inversión | 14586.0112 | Mantenimiento | 2.00% | | | | | | | | |
| Ingreso | 700 | Operación | 1.00% | | | | | | | | |
| Tasa de interés | 5% | | | | | | | | | | |
| Año | Inversión inicial | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Ingreso | | 73.5 | 89.25 | 99.75 | 105 | 115.5 | 126 | 129.15 | 142.8 | 147 | 157.5 |
| Mantenimiento | | -1.47 | -1.412918108 | -1.385213832 | -1.35805278 | -1.33142429 | -1.30531793 | -1.27972346 | -1.25463085 | -1.23003024 | -1.205912 |
| Operación | | -0.735 | -0.720517596 | -0.713383759 | -0.70632055 | -0.69932728 | -0.69240325 | -0.68554777 | -0.67876017 | -0.67203977 | -0.66538591 |
| Inversión | -14586.0112 | | | | | | | | | | |
| Total de egresos | -14586.0112 | -2.205 | -2.133435705 | -2.098597591 | -2.06437333 | -2.03075157 | -1.99772118 | -1.96527123 | -1.93339101 | -1.90207001 | -1.87129791 |
| flujo de caja | -14586.0112 | 71.295 | 87.1165643 | 97.65140241 | 102.935627 | 113.469248 | 124.002279 | 127.184729 | 140.866609 | 145.09793 | 155.628702 |
| TIR | | -3% | | | | | | | | | |
| VAN | | -1,348.00 | | | | | | | | | |

Figura 43. Tabla del cálculo del TIR Y VAN.

Por último, se procede a realizar el mismo análisis para las diferentes tecnologías del micro generador.

Tabla 14. Resultados económicos de las diferentes tecnologías.

| Tipo | Descripción | Inversión (\$) | TIR (%) | VAN (\$) |
|---------------------|-----------------|----------------|---------|----------|
| J312 Jenbacher | Motor-Generador | 14586.01 | -2.9 | -1.348 |
| TCG 3016 V08 X | Motor-Generador | 16452.51 | 5.1 | 1.230 |
| C200S Capstone | Microturbina | 15586.01 | -1.5 | -1.464 |
| CW251 B10 | Turbina a gas | 10586.01 | -3 | -1.897 |
| GE tipo 6 | Turbina a gas | 14588.88 | -1 | -1.568 |
| Westinghouse, CW251 | Turbina a gas | 15789.53 | 5.3 | 2.365 |

Los siguientes resultados reflejan que no es una inversión recuperable de 2023 - 2033 para 4 micro generadores, es decir si se implementa la máquina se podrá autoabastecerse de energía eléctrica, y sirve para promover a nuevas tecnologías para

no depender de los combustibles fósiles, mientras que para dos tecnologías es rentable a corto plazo, porque producen energía eléctrica alta.

2.3.3 Proveedores disponibles en el mercado ecuatoriano

Se puede encontrar varios proveedores disponibles en el mercado ecuatoriano como son:

INNIO

Son fabricantes de la producción y el desarrollo de motores a gas para la generación de calor y energía eléctrica con más de 80 años de experiencia. Los productos más relevantes son los motores Jenbacher y Waukesha con una potencia activa de 200kW y 10M. [54]

Jenbacher

Este tipo de tecnología tiene como beneficios el bajo consumo de combustible para garantizar la máxima eficiencia y es de fácil mantenimiento, también los componentes de la máquina tienen una vida útil considerable mayor a los 15 años. [45]

Tabla 15. Características Técnicas. [45]

| | |
|----------------------|----------------|
| Generación eléctrica | 657kW – 1062kW |
| Eficiencia eléctrica | up to 39.4% |
| Voltaje | 480V – 4.16kV |
| Generación térmica | 635kW – 1399kW |
| Eficiencia térmica | up to 50.4% |
| Tipo de combustible | Flexible |
| Costo | \$ 20000 |

Waukesha

Su diseño está constituido para ser duraderos y eficientes, generando energía confiable en varias aplicaciones energéticas como pueden ser continuas e intermitentes. Son máquinas resistentes y duraderas, este tipo de tecnología lleva funcionando desde hace más de 40 años. [55]

Tabla 16. Características Técnicas. [55]

| | |
|----------------------|---------------|
| Generación eléctrica | 700kW – 840kW |
| Eficiencia eléctrica | up to 40% |
| Voltaje | 125V – 1.5kV |
| Tipo de combustible | Gas natural |
| Costo | \$ 35000 |

Arcolands

Es una empresa que se encarga de proveer soluciones energéticas en el sector petrolero considerando como fuente el gas natural, esta empresa es responsable de fabricar motores y generadores a gas Waukesha, los cuales son los más confiables. Arcolands es designado como distribuidor autorizado en los equipos Waukesha para el territorio ecuatoriano. [56]

Waukesha

Tabla 17. Características Técnicas. [55]

| | |
|----------------------|---------------|
| Generación eléctrica | 200kW – 840kW |
| Eficiencia eléctrica | up to 45% |
| Voltaje | 140V – 10kV |
| Tipo de combustible | Gas natural |
| Costo | \$ 20000 |

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

Para los resultados del proyecto se analizará diferentes tecnologías de conversión de biometano a energía eléctrica.

Se escogió como ejemplo una planta de biomasa con desechos orgánicos vegetales con las siguientes características.

Tabla 18. Datos de la planta.

| | |
|--|---------------------|
| %BIO-CH ₄ | 70% |
| Volumen (V) | 1500 m ³ |
| Eficiencia del sistema de recuperación de biogás (γ) | 90% |

Para obtener el precio total de la potencia efectiva, se debe conocer el valor del kWh que tiene un costo de 0.105ctvs, el valor fue obtenido de cargos tarifarios CONELEC.

Tabla 19. Características de las diferentes tecnologías.

| Tipo | Descripción | Eficiencia (%) | Costo (\$) | Potencia eléctrica (kW) |
|---------------------|-----------------|----------------|------------|-------------------------|
| J312 Jenbacher | Motor-Generador | 0.394 | 14000 | 3.828 |
| TCG 3016 V08 X | Motor-Generador | 0.428 | 16000 | 4.158 |
| C200S Capstone | Microturbina | 0.33 | 15000 | 3.200 |
| CW251 B10 | Turbina a gas | 0.34 | 10000 | 3.303 |
| GE tipo 6 | Turbina a gas | 0.33 | 14000 | 3.206 |
| Westinghouse, CW251 | Turbina a gas | 0.32 | 15000 | 2.418 |

Tabla 20. Precio total de la potencia efectiva de las diferentes tecnologías.

| Potencia eléctrica (kW) | Potencia eléctrica (kWh) | Precio \$/kWh | Total |
|-------------------------|--------------------------|---------------|--------|
| 3.828 | 293.41 | 0.105 | 293.41 |
| 4.158 | 318.71 | 0.105 | 318.71 |
| 3.200 | 245.28 | 0.105 | 245.28 |
| 3.303 | 253.17 | 0.105 | 253.17 |
| 3.206 | 245.73 | 0.105 | 245.73 |
| 2.418 | 185.33 | 0.105 | 185.33 |

Para visualizar mejor se procedió a graficar los resultados en el programa computacional Excel.

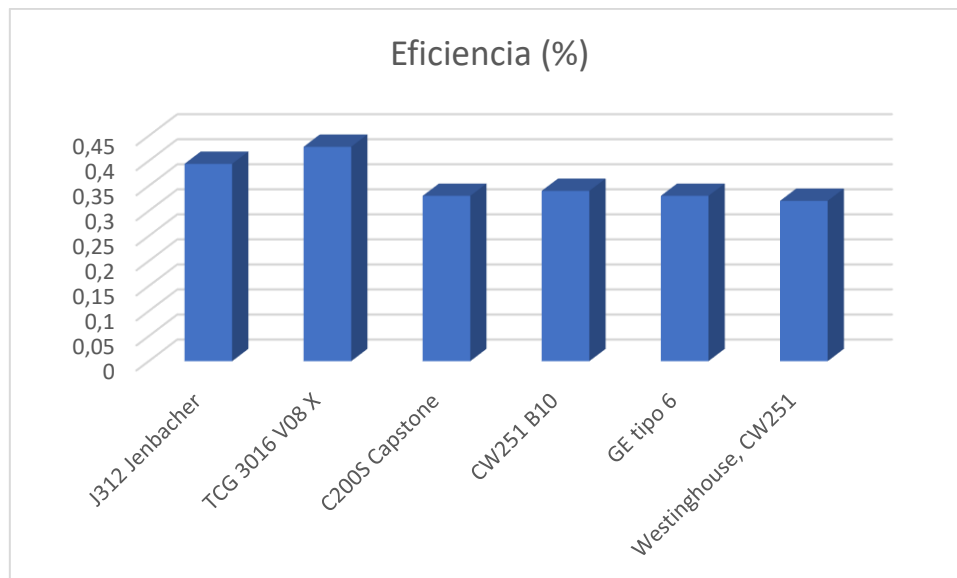


Figura 44. Gráfica de la eficiencia vs la tecnología.

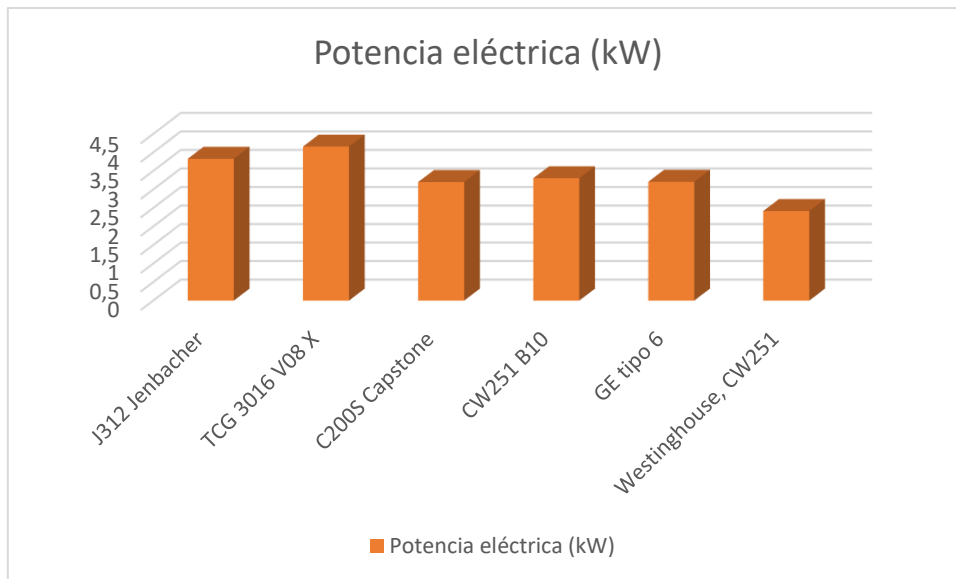


Figura 45. Gráfica de la potencia vs la tecnología.

Al analizar los resultados se puede observar que la máquina TCG 3016 V08 X Motor-Generador tiene una eficiencia de 0.428 y un costo de \$16000, como producto final puede producir una potencia activa de 4.158 kW, mientras que la máquina J312 Jenbacher Motor-Generador tiene una eficiencia de 0.394 con un costo \$14000, puede producir una potencia activa de 3.828 kW. Son las dos tecnologías más utilizadas para la generación de energía eléctrica a partir de bio-metano, por su eficiencia alta y su tiempo de vida útil es considerable mayor a los 15 años con su respectivo mantenimiento.

Realizando el análisis de la máquina Westinghouse, CW251 Turbina a gas tiene una eficiencia de 0.32, un análisis financiero prometedor y un costo total bajo, por lo que se puede incorporar en diferentes plantas de biomasa esperando un funcionamiento óptimo.

3.2 Conclusiones

- Al realizar el análisis del bio-metano para generar energía eléctrica puede obtenerse razonablemente con: una eficiencia de planta del 80% y costos de inversión con un rango de 1000-2000 \$, a través de desechos orgánicos vegetales como: brócoli, zanahoria y tomate.

- Se realiza la investigación de las diferentes tecnologías de micro generadores, se puede notar que, las máquinas que existen en el mercado no todas pueden generar energía eléctrica a partir de biometano, sino solo podrán generar las siguientes tecnologías como: motor-generator, turbina a gas y microturbina.
- Fue de gran importancia estimar los costos de la implementación del micro generador y los diferentes proveedores en el Ecuador, ya que permitió conocer la rentabilidad a corto plazo y si el proyecto en un futuro es un éxito o un fracaso, también los proveedores disponibles con diferentes cotizaciones en cada tecnología.
- Al analizar los resultados de la conversión de energía eléctrica a partir de biometano, la máquina Westinghouse CW251 Turbina a gas tiene una eficiencia de 0.32, y un análisis financiero prometedor con un costo bajo, por lo que es recomendable incorporar en una planta de biogás para su correcto funcionamiento.

3.3 Recomendaciones

- Dentro de lo que es las energías renovables, se podría agregar que la generación de energía eléctrica a partir de biometano es un método eficiente del 80 – 90%, si en el Ecuador y varios países lo pueden implementar ya no habría dependencia de combustibles fósiles.
- Debido a que no hay información suficiente se recomienda investigar más en este tema y realizar proyectos de investigación, para poder profundizar y desarrollar los conocimientos del país en este contenido.
- Se recomienda aplicar el proyecto en haciendas y fincas agrícolas por su alta producción de desechos orgánicos vegetales, lo que se convierte en una planta de energía renovable, útil, no contaminante y viable.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. D. Juan Antonio Carbajo, «elpais,» [En línea]. Available: <https://elpais.com/publi-especial/biometano/>. [Último acceso: 26 Febrero 2023].
- [2] S. C. Biblioteca, «Saltar la navegación,» [En línea]. Available: http://descargas.pntic.mec.es/recursos_educativos/lt_didac/Geo_Hist_ESO/3/08/40_Fuentes_Energia/fuentes_de_energa_tipos_e_importancia.html. [Último acceso: 15 Diciembre 2022].
- [3] acciona, «Energías Renovables,» [En línea]. Available: https://www.acciona.com/es/energias-renovables/?_adin=02021864894. [Último acceso: 15 Diciembre 2022].
- [4] SAINT-GOBAIN, «6 HÁBITOS QUE MOTIVAN EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN EL HOGAR,» [En línea]. Available: <https://www.saint-gobain.com.co/6-habitos-que-motivan-el-aprovechamiento-de-energias-renovables-no-convencionales-en-el-hogar>. [Último acceso: 15 Diciembre 2022].
- [5] A. Rodriguez, «caloryfrio,» 23 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/biomasa/que-es-la-biomasa-y-como-funciona.html>. [Último acceso: 15 Diciembre 2022].
- [6] S.L, «BIOMASS,» [En línea]. Available: <https://biomassenergetic.com/es/asi-es-el-ciclo-de-la-biomasa/>. [Último acceso: 15 Diciembre 2022].
- [7] F. Parco , C. Jácome , W. Katan y A. Mora, «ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE LA BIOMASA,» Guaranda , 2021.
- [8] P. Académico, «Portal Académico,» [En línea]. Available: <https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/quimica1/unidad2/combustion>. [Último acceso: 20 Febrero 2023].
- [9] E. Moron, «Hive blog,» 2022. [En línea]. Available: <https://hive.blog/hive-196387/@emiliomoron/pirolisis-catalitica-de-residuos-plasticos-para-producir-combustibles>. [Último acceso: 21 Febrero 2022].
- [10] J. A. Martillo Aseffe, R. Lesme Jaén, A. Martínez Gonzáles, L. O. Olivia Ruis y L. S. Orozco Cantos, «SCIELO,» Agosto 2019. [En línea]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852019000200455. [Último acceso: 21 Febrero 2023].
- [11] «Biogas,» [En línea]. Available: <https://www.biogas.es/digestion-anaerobica/>. [Último acceso: 21 Febrero 2023].
- [12] NewCo Professional S.L., «BioTech,» [En línea]. Available: <http://biotech-spain.com/es/articulos/optimizaci-n-de-producci-n-y-rendimiento-de-una-planta-de-biog-s-con-residuos-org-nicos/>. [Último acceso: 21 Febrero 2023].

- [13] RODES, «RODES,» [En línea]. Available: <https://www.rodes.com/mecanica/motores-diesel/#1589798075046-36a51406-ce22>. [Último acceso: 13 Enero 2023].
- [14] RODES, «RODES,» [En línea]. Available: <https://www.rodes.com/mecanica/motores-gasolina/>. [Último acceso: 21 Febrero 2023].
- [15] Solar Turbines, «Cómo Funciona una turbina a gas».
- [16] RINCÓNEDUCATIVO, «RINCÓNEDUCATIVO,» [En línea]. Available: <https://rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/que-es-un-generador-electrico/>. [Último acceso: 21 Febrero 2023].
- [17] Alibaba, «Alibaba,» [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/p-detail/Silent-1600449679121.html?spm=a2700.7724857.0.0.6d9b37fa0eBmOO&s=p>. [Último acceso: 21 Febrero 2023].
- [18] EUROINNOVA, «EUROINNOVA,» [En línea]. Available: <https://www.euroinnova.ec/blog/que-son-los-costos-directos>. [Último acceso: 21 Febrero 2023].
- [19] J. Valencia, «economipedia,» [En línea]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/coste-indirecto.html>. [Último acceso: 21 Febrero 2023].
- [20] S. Gasbarrino, «blog,» [En línea]. Available: <https://blog.hubspot.es/sales/costos-fijos>. [Último acceso: 22 Febrero 2023].
- [21] D. Torres, «blog,» [En línea]. Available: <https://blog.hubspot.es/sales/costos-variables>. [Último acceso: 22 Febrero 2023].
- [22] F. U. L, 2007. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/362/LuisaFernanda_PosadaUribe_2007.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 15 Diciembre 2022].
- [23] S. M, «Brainly,» [En línea]. Available: <https://brainly.lat/tarea/19619115>. [Último acceso: 15 Diciembre 2022].
- [24] M. V. Baculima Pintado y G. C. Rocano Tenezaca, Enero 2015. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7907/1/UPS-CT004750.pdf>. [Último acceso: 27 Diciembre 2022].
- [25] M. Reyes, «ResearchGate,» [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Principios-generales-de-la-degradacion-aerobia-de-hidrocarburos-asociados-al_fig1_331962873. [Último acceso: 01 Marzo 2023].
- [26] A. C. Martínez y R. Caro, «Sistemas de Generación Eléctrica».
- [27] E. M. Puente Aranda, Junio 2017. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://e->

archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/27777/TFG_Elena-Maria_Puente_Aranda_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 27 Diciembre 2022].

- [28] A. I. d. L. Herguedas y C. Tarango, «BIOMASA, BIOCOMBUSTIBLES,» 2012. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf. [Último acceso: 28 Diciembre 2022].
- [29] «“Realidad, Impacto y Oportunidades de los Biocombustibles en Guatemala (Sector Productivo)”»,» [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.oas.org/dsd/Energy/Documents/SimposioG/3%20Panel%20I%20Biogas.pdf. [Último acceso: 7 Enero 2023].
- [30] «Argentina.gob.ar,» [En línea]. Available: https://www.argentina.gob.ar/ambiente/accion/biodigestores#:~:text=Un%20biodigestor%20es%20un%20recipiente,mediante%20un%20generador%20a%20gas.. [Último acceso: 14 Enero 2023].
- [31] I. C. Zúñiga, «Biodigestores,» 2007.
- [32] J. A. P. MEDEL, «ESTUDIO Y DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA APLICACION EN PEQUEÑOS GANADEROS Y LECHEROS,» 2010.
- [33] A. T. R. GIRALDO, «MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO ESTUDIO DE BIODIGESTORES,» 2006.
- [34] E. R. Brusi y M. Narvaz, «BIODIGESTORES, BIOFILTROS Y PULPEROS».
- [35] Water supply , «Linked in,» 15 Septiembre 2017. [En línea]. Available: https://es.linkedin.com/pulse/que-es-un-biodigestor-o-pozo-s%C3%A9ptico-prefabricado-watersupply-ecuador. [Último acceso: 21 Enero 2023].
- [36] J. P. S. Vinasco, «TECNOLOGIA DEL BIOGAS».
- [37] J. Souza y L. Schaeffer, «SciELO,» 2013. [En línea]. Available: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000600002. [Último acceso: 4 Febrero 2023].
- [38] M. Barrera, J. Maicelo, O. Gamarra y M. Olivia, «BIOGÁS PRODUCCIÓN Y APLICACIONES,» Chachapoyas-Amazonas , Perú.
- [39] «HONDA,» [En línea]. Available: https://motos.honda.com.ec/producto-de-fuerza/motor-estacionario-gx270-9hp-21. [Último acceso: 27 Enero 2023].
- [40] «ENGINESPECS,» 27 Enero 2023. [En línea]. Available: https://www.engine-specs.net/honda/gx140.html. [Último acceso: 28 Enero 2023].
- [41] C. Ulate, «Agrovet MARKET,» [En línea]. Available: https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/utilizacion-biogas-operar-motores-t26821.htm. [Último acceso: 28 Enero 2023].

- [42] W. Wensink, «Truck,» [En línea]. Available: <https://www.truck1.com.ar/piezas-de-recambio/motores/mitsubishi-k4f-t-a6479796.html>. [Último acceso: 27 Enero 2023].
- [43] C. S. –. F. M. –. C. O. –. J. C. Dell’Angelica, «USO DE BIOGÁS EN MOTORES».
- [44] O. M. Lucero y R. M. Sosa Moreno, «GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS DE LA BIOMASA,» 2010.
- [45] INNIO, «JENBACHER,» 2023. [En línea]. Available: https://www.innio.com/es/productos/jenbacher?utm_campaign=LAT-Branded-BMM__Jenbacher&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_term=%2Bjenbacher%20%2Bbiogas&utm_content=adgroup-116586736060__creative-488980707333__network-g__placement-__adposition-__matchtype-. [Último acceso: 28 Enero 2023].
- [46] V. Suarez, «La Nueva Generación de Motores a Gas Natural de Emisiones Cercanas a Cero CWI “ISL G Near Zero”,» 2016.
- [47] Capstone, «C200S Power Package,» 2017.
- [48] linquip, «Turbina De Gas Industrial W251,» [En línea]. Available: <https://www.linquip.com/device/15855/industrial-gas-turbine-w251>. [Último acceso: 5 Febrero 2023].
- [49] Alibaba, «Alibaba,» [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/p-detail/Power-60671224371.html?spm=a2700.7724857.0.0.6d9b37fah5eENU&s=p>. [Último acceso: 21 Febrero 2023].
- [50] D. F. R. LEGÑA, «MODELIZACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA BASADA EN BIOGÁS COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA,» Quito, 2015.
- [51] A. L. R. Lestido, «ESTUDIO DE LA VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS PARA EL ENRIQUECIMIENTO DE BIOGÁS PROCEDENTE DE LA DIGESTIÓN DE FANGOS DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES,» 2018.
- [52] R. Nava y A. Marbelis, «SCIELO,» Diciembre 2009. [En línea]. Available: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-99842009000400009. [Último acceso: 12 Febrero 2023].
- [53] A. Trenza, «at miss finanzas,» 06 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://anatreza.com/costes-directos-e-indirectos/>. [Último acceso: 12 Febrero 2023].
- [54] 2. INNO, «ENERGY SOLUTIONS. EVERYWHERE, EVERY TIME.,» [En línea]. Available: <https://www.innio.com/es>. [Último acceso: 18 Febrero 2023].
- [55] 2. INNIO, «Waukesha VHP,» [En línea]. Available: <https://www.innio.com/es/productos/waukesha/vhp>. [Último acceso: 18 Febrero 2023].

- [56] Aecolands, «Arcolands,» [En línea]. Available: <https://arcolands.com/nosotros/>. [Último acceso: 18 Febrerp 2023].
- [57] J.Potschka, «biodigestores,» [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_potschka_biodigestores_plasticos.pdf. [Último acceso: 14 Enero 2023].
- [58] «ENERGETICA,» [En línea]. Available: <https://www.energetica21.com/articulos-y-entrevistas-online-ver/el-uso-del-biogas-como-combustible-renovable-en-motores-de-cogeneracion>. [Último acceso: 28 Enero 2023].
- [59] Alibaba. [En línea]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/200KW-Natural-Gas-Power-Generator-Set_1600537314397.html?spm=a2700.7735675.0.0.19bc1829PL4KR5&s=p. [Último acceso: 18 Febrero 2023].
- [60] Alibaba. [En línea]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/100kw-Biogas-Generator-Clean-Energy-CHP_60416765756.html?spm=a2700.7735675.0.0.19bc1829PL4KR5&s=p. [Último acceso: 18 Febrero 2023].
- [61] Alibaba, «Alibaba,» [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/p-detail/100kw-200kw-250kw-500kw-800kw-1000kw-1mw-1600531647505.html?s=p>. [Último acceso: 21 Febrero 2023].

5. ANEXOS

ANEXO I. Código en Matlab para la conversión de energía eléctrica a partir de bio-metano.

```
clc
```

```
% Análisis del biogás (bio-metano) generado hacia la obtención de energía eléctrica.
```

```
fprintf(' Escuela Politécnica Nacional \n')
```

```
fprintf(' Generación de energía eléctrica con bio-metano \n')
```

```
% Pedir datos para la obtención de energía eléctrica
```

```
disp("ESCOJA LA TEGNOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE ENERÍA ELÉCTRICA")
```

```
disp("1. J312 Jenbacher motor-generator")
```

```
disp("2. TCG 3016 V08 X motor-generator")
```

```
disp("3. C200S Capstone microturbina")
```

```
disp("4. CW251 B10 turbina a gas")
```

```
disp("5. GE tipo 6 turbina a gas ")
```

```
disp("6. Westinghouse, CW251 turbina a gas")
```

```
opc = input("Escoja opcion: ");
```

```
% Datos Generales
```

```
PCI_BIOMETANO = 37011.312; %kJ/m3  
WATIOS=2.778e-4;  
tiempo= linspace(0,20,10);
```

```
% Datos Especificos
```

```
% Concentración de bio-metano
```

```
disp(" INGRESAR LA CONCENTRACIÓN DE METANO EN %")  
BIO_PORCENTAJE = input("VALOR: ")/100;
```

```
% Generación máxima de bio-metano
```

```
disp(" INGRESAR LA GENERACIÓN MÁXIMA DE BIO-METANO EN m3")  
V = input("VALOR: ");
```

```
% Eficiencia de recuperación
```

```
disp(" INGRESAR LA EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN EN %")  
Y = input("VALOR: ")/100;
```

```
%% Gráficas
```

```
switch opc
```

```
case 1
```

```
PG1=BIO_PORCENTAJE*PCI_BIOMETANO *V*Y*0.394;  
PG1_W=PG1*WATIOS;  
yline(PG1_W,'b')  
title('POTENCIA ELÉCTRICA' )  
ylabel('Watios [kW] ' )  
xlabel('Tiempo [s]')  
grid on
```

```
case 2
```

```
PG2=BIO_PORCENTAJE*PCI_BIOMETANO *V*Y*0.428;  
PG2_W=PG2*WATIOS;  
yline(PG2_W,'r')  
title('POTENCIA ELÉCTRICA' )  
ylabel('Watios [kW] ' )  
xlabel('Tiempo [s]')  
grid on
```

```
case 3
```

```
PG3=BIO_PORCENTAJE*PCI_BIOMETANO *V*Y*0.33;  
PG3_W=PG3*WATIOS;  
yline(PG3_W,'b')  
title('POTENCIA ELÉCTRICA' )  
ylabel('Watios [kW] ')  
xlabel('Tiempo [s]')  
grid on
```

case 4

```
PG4=BIO_PORCENTAJE*PCI_BIOMETANO *V*Y*0.34;  
PG4_W=PG4*WATIOS;  
yline(PG4_W,'r')  
title('POTENCIA ELÉCTRICA' )  
ylabel('Watios [kW] ')  
xlabel('Tiempo [s]')  
grid on
```

case 5

```
PG5=BIO_PORCENTAJE*PCI_BIOMETANO *V*Y*0.33;  
PG5_W=PG5*WATIOS;  
yline(PG5_W,'b')  
title('POTENCIA ELÉCTRICA' )  
ylabel('Watios [W] ')  
xlabel('Tiempo [s]')  
grid on
```

case 6

```
PG6=BIO_PORCENTAJE*PCI_BIOMETANO *V*Y*0.33;  
PG6_W=PG6*WATIOS;  
yline(PG6_W,'r')  
title('POTENCIA ELÉCTRICA' )  
ylabel('Watios [W] ')  
xlabel('Tiempo [s]')  
grid on
```

end