

Aprovechamiento energético a partir de los residuos de la naranja para la producción de biogás en el Corregimiento la Guayacana en el Municipio de Tumaco

Karoll Melissa Pérez Rodríguez

Francisco Bladimir López

Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Mecánico

Corporación Universitaria Autónoma de Nariño

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Mecánica

San Juan de Pasto

2022

Aprovechamiento energético a partir de los residuos de la naranja para la producción de biogás en el Corregimiento la Guayacana en el Municipio de Tumaco

Karoll Melissa Pérez Rodríguez

Francisco Bladimir López

Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Mecánico

Director:

David Esteban Mora.

Ing. Mecánico

Codirector:

Erick Libardo Piñero Valbuena.

Ing. Mecatrónico

Corporación Universitaria Autónoma de Nariño

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Mecánica

San Juan de Pasto

2022

Contenido

Introducción

1. Título

2. Planteamiento del problema

- 2.1. Descripción del problema
- 2.2. Formulación del problema
- 2.3. Justificación

3. Objetivos

- 3.1. Objetivo general
- 3.2. Objetivos específicos

4. Marco referencial

- 4.1. Marco contextual
 - 4.1.1. Ubicación y límite territorial
 - 4.1.2. Población
 - 4.1.3. Clima
- 4.2. Marco teórico
 - 4.2.1. Tecnologías existentes para producción de biogás
- 4.3. Marco conceptual
 - 4.3.1. El naranjo (*Citrus sinensis*).
 - 4.3.2. Producción de la naranja en Colombia
 - 4.3.3. Propiedades fisicoquímicas de los residuos de la naranja
 - 4.3.3.1. Carbohidratos
 - 4.3.3.2. Enzimas
 - 4.3.3.3. Ácidos
 - 4.3.4. Digestión Anaeróbica para obtención de biogás
 - 4.3.4.1. Fermentación
 - 4.3.4.2. Fase de hidrólisis
 - 4.3.4.3. Fase acidogenesis
 - 4.3.4.4. Fase acetogénesis
 - 4.3.4.5. Fase metanogénesis
 - 4.3.5. Procesos de purificación del biogás
 - 4.3.5.1. Absorción o Scrubbing
 - 4.3.5.2. Adsorción
 - 4.3.5.3. Membranas Gas-Gas
 - 4.3.5.4. Biofiltración
 - 4.3.6. Combustibles fósiles
 - 4.3.7. Petróleo
 - 4.3.8. Gasolina
 - 4.3.8.1. La biogasolina
 - 4.3.8.2. Butanol

- 4.3.9. Biomasa
 - 4.3.9.1. Métodos termoquímicos
 - 4.3.9.1.1. Combustión
 - 4.3.9.1.2. Pirólisis
 - 4.3.9.1.3. Gasificación
 - 4.3.9.1.4. Co-combustión
 - 4.3.9.2. Métodos bioquímicos
 - 4.3.9.2.1. Fermentación alcohólica
 - 4.3.9.2.2. Fermentación metánica
 - 4.3.9.3. Sistemas de aprovechamiento de biomasa
 - 4.3.9.3.1. Producción de energía térmica.
 - 4.3.9.3.2. Producción de biogás
 - 4.3.9.3.3. Producción de biocombustibles
 - 4.3.9.3.3.1 Bioetanol
 - 4.3.9.3.3.2. Biodiesel
 - 4.3.9.4. Tipos de biomasa
 - 4.3.9.5. Extracción De Biomasa
- 4.3.10. Bioenergía
- 4.3.11. Biocombustibles
 - 4.3.11.1. Biocombustibles sólidos
 - 4.3.11.2. Biocombustibles líquidos
 - 4.3.11.3. Biocombustible Gaseoso
- 4.3.12. Biodiesel
- 4.3.13. Bioetanol
 - 4.3.13.1 Etanol anhidro grado carburante desnaturalizado
 - 4.3.13.2. Celulosa
- 4.3.14. Madera
- 4.3.15. Hemicelulosa
- 4.4. Marco tecnológico
- 4.5. Conceptos de diseño
 - 4.4.1. Análisis del proceso y del producto
 - 4.4.1.1 Condiciones de entrada de los residuos de la naranja
 - 4.4.1.2 Condiciones de salida del producto
 - 4.4.1.3 Análisis funcional
- 4.6. Tecnologías existentes para producción de biogás
- 4.7. Marco legal
 - 4.7.1. Ley 9 de 1979
 - 4.7.2. Decreto 1713 de 2002 (MAVDT)
 - 4.7.3. Norma Técnica Colombiana NTC 522-1
 - 4.7.3.1. Objeto y campo de aplicación
 - 4.7.3.1.1. Objeto
 - 4.7.3.1.1. Campo de aplicación
 - 4.7.4. Norma técnica colombiana NTC 3853
 - 4.7.4.1. Instalaciones Fijas
 - 4.6.4.2. Instalaciones temporales
 - 4.6.4.3. Gas comprimido

5. Diseño de aspectos metodológicos

- 5.1. Línea de investigación

- 5.1.1. Enfoque mixto
- 5.1.2. Tipo de investigación
- 5.1.3. Método
- 5.1.4. Variables
- 5.2. Delimitación geográfica
 - 5.2.1. La Guayacana
 - 5.2.2. Instrumentos de recolección de información
- 6. Elementos de administración y control**
 - 6.1. Recursos físicos y técnicos
 - 6.1.2. Recursos físicos
 - 6.1.3. Recursos técnicos
 - 6.2. Talento humano
 - 6.3. Presupuesto
 - 6.4. Cronograma de actividades
- 7. Criterios de Evaluación**
 - 7.1. Análisis de la selección de la propuesta
 - 7.2. Boceto de prototipo
- 8. Diseño de detalle para la producción teórica de Biogás**
 - 8.2. Digestión Anaeróbica: Producción teórica de Biogás
 - 8.3. Producción de biogás/día
 - 8.4. Determinación de volumen del metano a condiciones estándar
 - 8.5. Especificaciones técnicas y manual del usuario
- 9. Desarrollo experimental y análisis de resultados**
 - 9.1. Montaje experimental
 - 9.2. Análisis de resultados
 - 9.3. Evidencia fotográfica del ensamblaje y materiales utilizados
- 10. Conclusiones**
- 11. Referencias**

Lista de tablas

Tabla 1: Componentes de la plataforma Arduino

Tabla 2: Ficha de lectura

Tabla 3: Ficha de lectura

Tabla 4: Ficha de lectura

Tabla 5: Ficha de lectura

Tabla 6: Variables independientes y dependientes

Tabla 7: Presupuesto

Tabla 8: presupuesto

Tabla 9: Cronograma de actividades en semanas

Tabla 10: Cálculo tanque de almacenamiento 1

Tabla 11: Análisis de ventajas y desventajas de los métodos de purificación

Tabla 12: Especificaciones técnicas

Tabla 13: Manual del usuario para uso, operación y mantenimiento

Tabla 14: Análisis de resultados obtenidos

Lista de gráficas

Gráfica 1: Fases del proceso anaerobio

Gráfica 2 y 3: Caja negra y transparente

Gráfica 4: Gráfica de barras de resultados obtenidos

Lista de ilustraciones

- Ilustración 1:* Mapa de Tumaco
- Ilustración 2:* Ubicación Municipio de Tumaco
- Ilustración 3:* Exportaciones Colombianas de Naranja
- Ilustración 4:* Boceto del prototipo en SketchUp
- Ilustración 5:* Boceto del prototipo en Solidworks
- Ilustración 6:* Pegamento
- Ilustración 7:* Tabla de policarbonato
- Ilustración 8:* Sensor 6575 y Termocupla
- Ilustración 9:* Disipadores
- Ilustración 10:* Celda Peltier
- Ilustración 11:* Módulo 1
- Ilustración 12:* Bidon (tanque 2)
- Ilustración 13:* Estructura
- Ilustración 14:* DTH11
- Ilustración 15:* MQ4
- Ilustración 16:* Módulo 2
- Ilustración 17:* Residuos
- Ilustración 18:* Ensamblaje
- Ilustración 19:* Ensamblaje
- Ilustración 20:* Abrazadera
- Ilustración 21:* Resortes de comprensión
- Ilustración 22:* Placa
- Ilustración 23:* Tapa
- Ilustración 24:* Sellante
- Ilustración 25:* Tapa tanque 2
- Ilustración 26:* Marco
- Ilustración 27:* Válvula antirretorno SNTC
- Ilustración 28:* Conexión
- Ilustración 29:* Aplicación
- Ilustración 30:* Codo
- Ilustración 31:* Aplicación
- Ilustración 32:* Abrazadera plástica
- Ilustración 33:* Silicona gris
- Ilustración 34:* Manguera TG 3/16
- Ilustración 35:* Instalación
- Ilustración 36:* Cable UTP y Jumpers
- Ilustración 37:* Niples
- Ilustración 38:* Montaje
- Ilustración 39:* Llave 1/2 pulgadas
- Ilustración 40:* Racor
- Ilustración 41:* Codo
- Ilustración 42:* Manómetro
- Ilustración 43:* Programación arduino Sensor MQ
- Ilustración 44:* Programacion arduino Temperatura

Introducción

El mal manejo y tratamiento de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos sigue siendo una problemática mundial que tiene impactos negativos en distintos ámbitos. “Por una parte puede afectar la salud, en forma de enfermedades; o puede también tener efectos perjudiciales al medio ambiente: en lo estético de las ciudades, los paisajes naturales y en sus especies, y en la contaminación del agua, suelo y aire. Todo esto afecta la calidad de vida de las personas” (VOLTA, 2019).

De este modo, en los últimos años se han intentado implementar distintas alternativas tecnológicas encaminadas a reducir la cantidad de residuos sólidos que llegan a los basureros, a los rellenos sanitarios o a las fuentes hídricas, centrándose así en los residuos orgánicos domésticos y haciendo uso de estos para distintos fines, como por ejemplo la producción de biocombustibles (bioetanol, biodiesel, biogás), la extracción de aceites, la elaboración de productos de aseo como desengrasantes.

Así pues, se busca un aprovechamiento a gran escala de estos residuos, con alternativas amigables con el medio ambiente para de este modo, generar conciencia sobre el tratamiento y manejo de los residuos orgánicos, además de generar un impacto positivo en el medio ambiente, en la salud de las personas y evitar la concentración de focos de residuos que puedan generar la contaminación del aire, la contaminación del agua, la degradación de los suelos y la alteración de los ecosistemas.

Esto ha motivado a distintos sectores, comunitarios, institucionales, y educativos a formular proyectos encaminados a ejercer un control sobre el impacto ambiental, es por esto, que este proyecto busca generar una alternativa para el manejo y control sobre los residuos sólidos orgánicos domésticos que se producen en sectores de mayor vulnerabilidad, de insuficiencia institucional y bajas condiciones de la calidad de vida, formulado desde la ingeniería mecánica, a través de un prototipo de máquina que produce biocombustible, y centrado en la producción de biogás.

1. Título

Aprovechamiento energético a partir de los residuos de la naranja para la producción de biogás en el Corregimiento la Guayacana en el Municipio de Tumaco.

2. Planteamiento del problema

2.1. Descripción del problema

El tratamiento de las basuras sigue siendo un tema relevante a nivel mundial, pues el impacto ambiental por su manejo ha traído consecuencias devastadoras como, la contaminación del agua, la contaminación del agua, la destrucción de los suelos y la alteración de los distintos ecosistemas, como lo afirma Torres (2015) citando a Jaramillo (2003);

La mala disposición de residuos genera deterioro al ambiente; uno de los impactos directos, es la contaminación de fuentes hídricas, tanto superficiales como subterráneas. Esto se da porque se realizan vertimientos de basuras en ríos, canales y arroyos, así como la descarga del líquido lixiviado, producto de la descomposición de los desechos en los botaderos a cielo abierto o cuando se depositan en lugares inapropiados. La descarga de basuras a las corrientes de agua, incrementa la carga orgánica que disminuye el oxígeno disuelto, aumenta los nutrientes que propician el desarrollo de algas y dan lugar a la eutrofización, causa la muerte de peces, genera malos olores y deteriora la belleza natural de este recurso y de su entorno.

Así mismo un segundo impacto es la contaminación del suelo; dado por el abandono y la acumulación de residuos generando el envenenamiento de los suelos, debido a las descargas de sustancias tóxicas y alterando las condiciones fisicoquímicas de este; conllevando a disminución de sus funciones. Como tercer impacto negativo, está lo relacionado con la contaminación del aire; debido a que los residuos sólidos abandonados en los botaderos a cielo abierto, en calles, vías, parques; que producen infecciones respiratorias e irritaciones nasales, de los ojos y molestias que producen los malos olores. Además de lo anterior, está el cuarto impacto, relacionado con la contaminación visual, debido a la inadecuada disposición de residuos sólidos; lo cual es fuente de deterioro del ecosistema urbano, tierras agrícolas, zonas de recreación, sitios turísticos, en este orden de ideas, quitándole la belleza intrínseca que tienen

cada uno de estos lugares y a su vez, afectando a la flora y fauna de la zona. (Torres, 2015, p. 16)

Colombia por su parte, no está exento de esta problemática, afectando principalmente a la población vulnerable del país, por ejemplo, las zonas periféricas de las grandes ciudades y donde se concentra el turismo que deja grandes cantidades de residuos que no tienen un tratamiento adecuado y terminan en ríos, vertederos o rellenos sanitarios, así lo afirma Torres (2015):

“En Colombia el manejo de las basuras ha tenido diferentes modalidades, la prestación del servicio de aseo ha pasado por manos públicas y privadas. Desde sus inicios en ciudades como Bogotá los residuos sólidos han sido un problema; en la época de la colonia arrojaban las basuras a los caños y zonas boscosas de la ciudad. En el siglo XVIII los desechos orgánicos eran arrojados en los patios traseros de las casas y los ríos que pasaban por la ciudad o cerca de ella, el aseo comenzó a presentarse como un gran problema a principios del siglo XIX” (Torres, 2015, p.15).

Finalmente, Tumaco, ha presentado distintas crisis por el mal manejo de las basuras, el caso más reciente se registra en el presente año después que Corporación Autónoma Regional de Nariño, Corponariño, decreta el cierre temporal de la planta de residuos sólidos del municipio, esto se puede observar en un reporte periodístico publicado en el Diario del Sur (2022):

El cierre generó que los recicladores que viven de la recuperación de elementos en este relleno sanitario, y algunos trabajadores salgan a las calles a protestar por la medida que los perjudica, sumándole un problema social al ambiental.

El profesional especializado y gestor de Residuos Sólidos de Corponariño, Fernando Paredes, comentó “teniendo en cuenta la normatividad ambiental, el municipio adquiere unos compromisos y ellos delegan en la empresa Aguas de Tumaco la recolección de los residuos. Es así como se realizaron varios llamados de alerta para mitigar los efectos ambientales del relleno sanitario y obtener la licencia ambiental para continuar con el proceso de recolección y tratamiento de las basuras.

Lastimosamente las observaciones y sugerencias no se cumplieron”.

“Observamos que el lixiviado viene cayendo en la fuente de agua de Santa Clara afectando a los habitantes aledaños al basurero, y no se han tomado las medidas correspondientes para solucionar ese problema. Igualmente la disposición de las basuras ha contaminado el ambiente de toda esta zona de Buchelly donde se ubica, generando problemas a la comunidad”, señaló.

“En los próximos días la población debe abstenerse de sacar las basuras a las calles porque mientras no se hagan las adecuaciones no habrá donde depositar los desechos, así que este es un llamado a la conciencia ciudadana y a la responsabilidad social”, aclaró el funcionario ambiental. (Diario del Sur, 2022).

Finalmente, para contribuir a la mitigación del impacto ambiental del manejo de residuos sólidos orgánicos se plantea desde la ingeniería mecánica, un prototipo de maquinaria que busca el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos domésticos para la generación de biocombustibles (biogás), que se formula inicialmente para el corregimiento la Guayacana, y que posteriormente se puede expandir al municipio de Tumaco en su totalidad.

2.2. Formulación del problema

¿Cómo el aprovechamiento energético de los residuos de la naranja puede ser una alternativa para mitigar la contaminación ambiental?

2.3. Justificación

Con este análisis que trata acerca de los residuos sólidos que se generan en la zona rural la Guacayana, ya que se observa que este sector ha pasando por un gran problema que día a día se va acrecentando; la acumulación de residuos sólidos en las zonas costeras y la imposibilidad de deshacerse de los mismos está generando un gran impacto ambiental, además de enfermedades provocadas por la acumulación de insectos que se derivan de este mal manejo de los residuos.

La conformación geográfica de la zona y los antecedentes históricos han esclarecido el gran problema socio-económico y de desarrollo que existe en el corregimiento de la Guacayana, corregimiento del que poco se conoce, y no hay información precisa más que la recolectada por vivencias propias.

Así pues, es necesario presentar alternativas que ayuden a mitigar el impacto ambiental, aprovechando los residuos orgánicos para producir biocombustibles que sirvan como fuentes energéticas para la misma población, ayudando así a mejorar su calidad de vida.

Es por esto que en este trabajo se plantea un prototipo de máquina para producir biogás, con la intención de hacer un aporte significativo desde la ingeniería mecánica.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Implementar un modelo experimental que estudie y analice la generación de biogás a partir de la descomposición de los residuos de la naranja.

3.2. Objetivos específicos

Investigar las propiedades de la naranja, incluyendo sus residuos

Investigar los procesos y máquinas existentes en el mercado para producción de biogás.

Obtener biogás a partir de los residuos de la naranja usando un diseño experimental de generación de biogás por principio anaeróbico.

Cuantificar las variables incidentes en el proceso y su influencia en la generación del gas.

Realizar un análisis comparativo del modelo experimental que establezca las cantidades de gas producidas bajo condiciones determinadas.

4. Marco referencial

4.1. Marco contextual

4.1.1. Ubicación y límite territorial

Este proyecto está diseñado para llevarse a cabo en el Corregimiento de la Guacayana en el Municipio de Tumaco, con el fin de aprovechar los residuos orgánicos del Cítrico Naranja, ya que, gracias a sus componentes químicos se puede obtener biogás; y a su vez, se puede usar como una alternativa que pretende reducir los efectos negativos medioambientales producidos por las malas prácticas de disposición de residuos sólidos y orgánicos.

Cuadro 1: Ficha geográfica: Municipio de Tumaco

Ficha geográfica: Municipio de Tumaco

Descripción Física : El municipio de Tumaco, se encuentra en el Suroeste Colombiano, a los 1° - 48' - 24" de Latitud Norte y 78° - 45' - 53" de Longitud al Oeste del Meridiano de Greenwich. Ubicado en la costa pacífica del departamento de Nariño.

Límites del municipio:

Norte: Con el municipio de Francisco Pizarro (Salahonda).

Sur: Con la República de Ecuador.

Oriente: Barbacoas y Roberto Payan.

Occidente: Con el Océano Pacífico.

Extensión total : 3601729380 Km²

Extensión área urbana : 13753590 Km²

Extensión área rural : 3587975790 Km²

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 1 Metro

Temperatura media : 26.2°C° C

Distancia de referencia : 304 kilómetros al sur occidente de la ciudad de San Juan de Pasto.

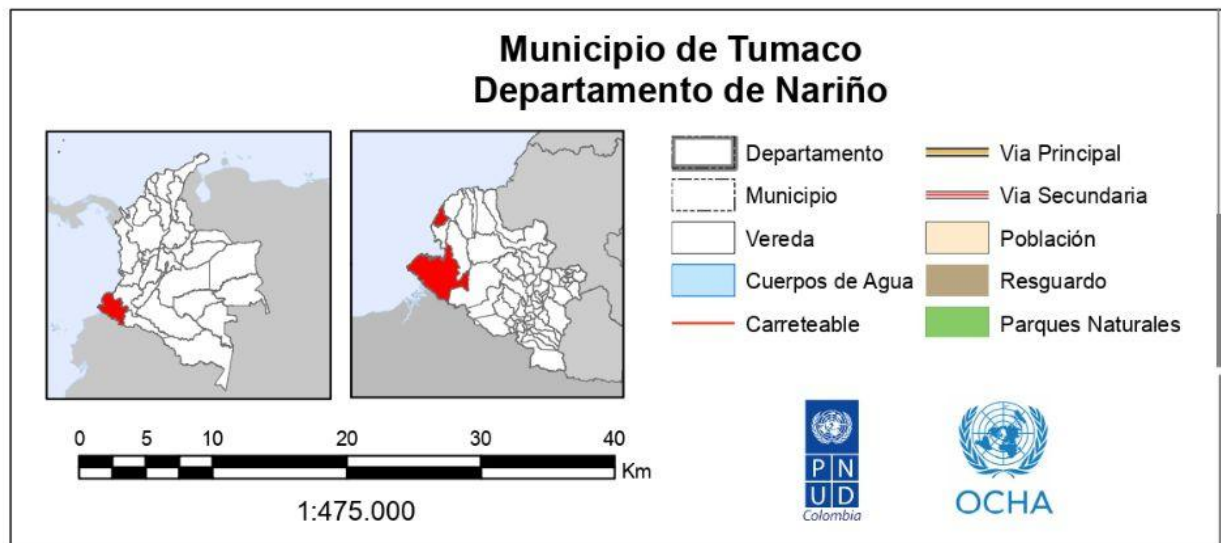
Nota: El cuadro muestra la ficha geográfica del Municipio de Tumaco en el Departamento de Nariño.

Fuente: Alcaldía Distrital de Tumaco - Nariño (2022)

Ilustración 1: Mapa de Tumaco



Ilustración 2: Ubicación Municipio de Tumaco



Nota: La ilustración N° 1 y la ilustración N° 2 muestran la ubicación de Tumaco en el mapa de Colombia, así como su ubicación y límites con respecto al departamento de Nariño.

Tomado de: Unidad de Manejo y Análisis de Información Colombia (2022).

4.1.3. Población

El número de habitantes en el Municipio de Tumaco es de 203.971 habitantes, de los cuales 114.224 habitan en el sector urbano y 89.747 en el sector rural, según la página oficial de la Alcaldía de Tumaco (2022).

4.1.4. Clima

Tumaco “se caracteriza por poseer un clima cálido húmedo y, dada su ubicación en la cuenca oceánica, su importancia turística, agroindustrial y comercial es referente para toda la región. La humedad relativa es de 83.86% con una precipitación anual promedio en la cabecera de Tumaco de 2.531mm 3,4,5,6. El promedio de altura de marea se ubica a 3.5 metros 7,8,9 Los ríos tienen gran importancia en la forma de vida de la población de la zona ya que proporcionan agua para el consumo humano y animal, y se constituyen en fuente de trabajo para el riego de sus cultivos, como también, proporcionando vías de comunicación y acceso a regiones apartadas” (Suarez, et al, 2014, p. 17).

4.2. Marco teórico

4.2.1. Tecnologías existentes para producción de biogás

Para resolver este punto, se realiza un barrido bibliográfico con respecto a las tecnologías que existen como alternativas para la producción de biogás.

Tabla 2: Ficha de lectura

Título	Viabilidad Económica de la Utilización de Biogás para la Conversión en Energía Eléctrica (2011)
Autores	Ricardo G. Cervi Maura S. T. Esperancini Osmar de C. Bueno
Variables	<ul style="list-style-type: none">● Temperatura● Humedad
Elementos	<ul style="list-style-type: none">● Reactor● Generador de electricidad● Motor- generador
Descripción	Se ha determinado la viabilidad económica para la conversión del biogás en electricidad, a partir del aprovechamiento de desechos de un criadero de cerdos. El biodigestor analizado es un modelo tubular continuo, con zanja para agua en albañilería y un contenedor cerrado, hermético e impermeable, donde son depositados diariamente los desechos de 2300 cerdos. La inversión inicial para la implementación fue estimada en aproximadamente R \$51.537 y los costos anuales del sistema fueron de R \$5.700 con mantenimiento, R \$4.400 con depreciación y R \$1.370 con los intereses. Se encontró que un consumo medio de 28 kW-hora-1 es el consumo mínimo que debe tener el sistema para ser económicamente factible.

Tabla 3: Ficha de lectura

Título	Diseño y construcción de un biodigestor anaeróbica vertical semicontinua para la obtención de gas metano y biol a partir de las cáscaras de naranja y mango (2016)
Autores	Anthony William Gonzabay Valdiviezo Pablo Moises Suárez Monroy
Variables	<ul style="list-style-type: none"> ● Temperatura ● Humedad ● PH
Elementos	<ul style="list-style-type: none"> ● Biodigestor ● Modelo tubular ● Membrana hermética
Descripción	<p>En la elaboración de este proyecto se pretende realizar el diseño y construcción de un biodigestor anaeróbico vertical semicontinuo para la obtención de gas metano y biol a partir de la cáscara de naranja y mango esto se logra al estimar los parámetros de diseño de biodigestor de diseño anaeróbico vertical semicontinuo, calculando la cantidad de gas metano y biol estimado que podría generar el biodigestor, además de construir y operar el biodigestor anaeróbico semicontinuo para la obtención de gas metano y biol Se deberá tener también el control de los parámetros operacionales dentro de los rangos establecidos para un adecuado funcionamiento del biodigestor. Esto se logrará realizando tres pruebas a diferente masa y temperatura para saber cuál fue la presión de salida máxima y biol del biodigestor.</p> <p>De este modo, el proyecto podrá servir como guía para la construcción de biodigestores similares, así como manual para su uso correcto, con recomendaciones y consejos prácticos. Además, las conclusiones obtenidas en los experimentos, servirá para posteriores ensayos.</p>

Por otro lado, se plantean posibles experimentos y aplicaciones futuras, sirviendo de este modo el biodigestor no solo para la realización de este proyecto, si no para posteriores usos y aplicaciones del mismo.

Tabla 3: Ficha de lectura

Título	Desarrollo del proceso de producción de biogás y fertilizante orgánico a partir de mezclas de desechos de procesadoras de frutas (2010)
Autores	Omar Guillermo Chiriboga Novillo
Variables	<ul style="list-style-type: none">● Temperatura● Tiempo de retención● PH
Elementos	<ul style="list-style-type: none">● Manómetros● Válvula de gas● Mangueras● Resistencia
Descripción	La elaboración de este proyecto de investigación es la fabricación de las condiciones de operación adecuadas para la digestión anaeróbica de desechos orgánicos de plantas procesadoras de fruta con el fin de maximizar la producción de biogás y la degradación de la materia orgánica.

Tabla 4: Ficha de lectura

Título	Producción de biogás mediante fermentación líquida de los residuos sólidos de piña y naranja (2019)
---------------	---

Autores José Vera-Loor
Gema Anchundia-Vélez
María Sccipa-Mendoza

- Variables**
- Temperatura
 - Tiempo de retención
 - PH
 - Agitación
-

Elementos

Descripción Este proyecto de investigación se enfoca en el estudio de una mezcla de los residuos de las cáscaras de frutas utilizando el microorganismo *Escherichia Coli* para su aprovechamiento en la digestión anaerobia en fermentación líquida. En el acondicionamiento y desarrollo experimental se tomaron en consideración parámetros como la concentración de materia orgánica, expresada como demanda química de oxígeno, temperatura, tiempo de retención y pH. La velocidad de degradación está expresada como la producción de biogás bajo diferentes condiciones. Los sustratos utilizados para esta investigación fueron los residuos de la cáscara de naranja y piña. El reactor que se utilizó en este estudio es un biorreactor de laboratorio que posee un sistema de control manual para los principales parámetros: temperatura, pH y agitación. Obtenidos estos resultados se prosigue con el diseño de un biodigestor anaerobio para la obtención de biogás.

Se concluye que el tiempo de retención estimado para la producción de biogás de acuerdo o al prototipo realizado es de 30 días, con lo que se garantiza la funcionalidad del diseño y la generación de los productos de la digestión anaeróbica. Se recomienda la aplicación de este proyecto como una alternativa viable para el manejo adecuado de los residuos orgánicos y la protección del ambiente.

Tabla 5: Ficha de lectura

Título	Diseño teórico de una planta de producción de biogás a partir de residuos de naranja en la ciudad de Bogotá (2022)
Autores	Sebastián criollo Marín Esteban rodríguez cuervo
Variables	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura• PH• Tiempo
Elementos	<ul style="list-style-type: none">• Tanque de almacenamiento
Descripción	En el desarrollo de este trabajo de grado se presenta una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos como lo son; cáscaras de naranja y excretas bovinas, adicional a esto se plantea un posible diseño de una planta que puede ser usado para la producción de biogás. Inicialmente se realizó la búsqueda de los conceptos y principios sobre la producción de biogás entre ellos tenemos: composición y propiedades del biogás, características y composición de la cáscara de naranja y de las excretas bovinas, se estudió el proceso de digestión anaeróbica donde a lo largo del primer capítulo se describe las distintas etapas que comprenden el proceso; hidrólisis, etapa fermentativa o acidogénica, la etapa acetogénica y la etapa metanogénica

Nota: Las tablas 1, 2, 3, 4 y 5 corresponden a fichas de lectura de elaboración propia basadas en modelos y tecnologías usadas para la obtención de biogás comprendiendo diferentes aportes, y se escogieron como marco referencial para el planteamiento del presente trabajo.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la investigación hecha por el ingeniero Wilson Gutiérrez (2020), denominado: “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ETANOL A

PARTIR DE LA CÁSCARA DE NARANJA APLICANDO METODOLOGÍA SIX SIGMA” plantea que el método de six sigma permite reconocer las fortalezas y debilidades del proceso de extracción de etanol lo que visibiliza la oportunidad para aumentar la cantidad de etanol al final del proceso, esta investigación se centra en la extracción de etanol mediante la herramienta six sigma la cual permite tener un panorama del comportamiento del etanol, el proceso se lleva a cabo con la ayuda de 5 etapas: definir, medir, analizar, mejorar y controlar lo que permite visualizar el proceso de manera más detallada, finalmente se puede decir que el autor se centra en la producción de etanol a partir de residuos de naranja porque está optimizando un proceso ya planteado, lo que permitió una obtención de resultados esperados.

La investigación realizada por la autora Pamela del pilar castro(2017), llamada: “EFICIENCIA COMPARATIVA DE LA OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE RESIDUOS DE NARANJA (CITRUS SINENSIS) Y PIÑA (ANANAS COMOSUS) EN MEZCLAS CON COMBUSTIBLE”, se plantea el aprovechamiento de bioetanol el cual se ve favorecido por el alto contenido de biomasa en los residuos de naranja y piña, implementando el proceso de hidrólisis ácida y fermentando posteriormente con levadura, cuyo producto se mezcla con gasolina, esta investigación se centra en evaluar la eficiencia del etanol obtenido de los residuos naranja y piña combinado con gasolina también conocido como método RON, se busca hacer una comparación del número de octanos entre esta mezcla y gasolina corriente. Finalmente se puede decir se utilizó 12 kg de residuos incluyendo residuos de naranja y piña obteniendo un octanaje con una diferencia mínima respecto a la gasolina extra, así pues, el proyecto presenta unos resultados positivos.

Finalmente, la investigación realizada por Andrés Echeverry arias(2019), denominada: “Determinación del potencial de producción de biogás y bioetanol del residuo de naranja”, plantea analizar el potencial de producción de biogás y bioetanol del residuo de naranja, implementando el procesos de fermentación alcohólica y Fermentación metanogénicas, buscando hacer una comparación con diferentes muestras de residuos los cuales pasan por diferentes procesos, finalmente se puede decir que arroja resultados con altas concentraciones de etanol y biogás.

4.3. Marco conceptual

4.3.1 El naranjo (*Citrus sinensis*).

“El naranjo (*Citrus sinensis*). Es un árbol frutal del género Citrus, que forma parte de la familia de las Rutáceas. Su fruto es la naranja dulce, de forma oval con un tamaño entre 6-9 cm de diámetro, con la corteza poco plegada de color naranja, pulpa sin vesículas oleosas y semillas dulces,” (Castro, 2017).

También es importante recalcar que, la naranja tiene un alto contenido de fibra presente en los hilos blancos de esta fruta, que ayuda a regular los niveles de glucosa en la sangre, además de, una alta concentración de calcio, así pues, sus propiedades caloríficas a 25°C es de 3.822 KJ/ kg. °K.

4.3.2. Producción de la naranja en Colombia

La producción de naranja en Colombia es una de las actividades con mayor rentabilidad, puesto que su producción se centra en cuidados básicos de la planta, y la obtención de su fruto, además tiene en cuenta factores como el clima, humedad y productividad de la tierra, cuestiones que Colombia reúne con facilidad y en muchas regiones del país, así pues, según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2020), la producción de cítricos se puede dar en casi todo el territorio nacional teniendo en cuenta, que la altitud supera los 2500 metros sobre el nivel del mar, y la producción de naranja requiere estar por encima de los 900 metros sobre el nivel del mar. De este modo, la producción de cítricos en Colombia se encuentra concentra en seis (6) núcleos productivos:

Cuadro 2:

Núcleos productivos de cítricos en Colombia

Costa Atlántica: Atlántico, Magdalena, Cesar, Bolívar.

Nor – Oriente: Santander, Norte de Santander, Boyacá.

Centro: Cundinamarca, Tolima, Huila.

Llanos Orientales: Meta, Casanare.

Occidente: Antioquia, Valle del Cauca, Caldas, Risaralda, Quindío.

Sur: Cauca, Nariño.

Nota: El cuadro muestra los núcleos productivos en Colombia por regiones, con respecto a la producción de cítricos.

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2020).

De este modo, según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2020) “teniendo en cuenta la informalidad del sector de cítricos, actualmente, no se cuenta con las cifras discriminadas por producto, pero de acuerdo a las cifras transadas en las principales plazas mayoristas del país, el 47% de la producción corresponde a naranjas, el 27% a mandarinas y el 26% a limón, siendo este productor el de mayor crecimiento en área sembrada en los últimos dos años y mayor visión exportadora” (p. 3).

Por otro lado, es importante mencionar, que el precio de la naranja, así como el de otros cítricos en Colombia, pueden variar debido a la volatilidad de las épocas de la producción, en épocas de cosecha están muy por debajo de los precios de referencia y en época de escasez los superan. “Es importante tener en cuenta que estos precios son los reportados en la Central Mayorista de Abastos y constituyen precios de referencia” (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020, p.6).

En Colombia la producción de cítricos a gran escala se hace principalmente para la exportación, sin embargo, la pandemia por Covid 19 registro distintos problemas para esta actividad, y a su vez, la pérdida de las cosechas e incremento en las cifras de desechos orgánicos en los núcleos de producción del país.

Ilustración 3: Exportaciones Colombianas de Naranja



Nota: La ilustración muestra las exportaciones colombianas de Naranja comprendidas entre enero de 2014 y diciembre de 2019, muestra a su vez los ingresos en Millones de dólares y la cantidad de exportación en Toneladas.

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2020).

4.3.3. Propiedades fisicoquímicas de los residuos de la naranja

4.3.3.1. Carbohidratos

Los carbohidratos presentes en la cáscara de naranja figuran el 80,8% de su masa seca, los cuales se distribuyen con un 30% al 50%, lo conforman pectinas de monosacáridos, entre un 20% al 40% es celulosa y del 10% al 20% es hemicelulosa (Castro 2017).

4.3.3.2. Enzimas

En la cáscara de naranja se encuentran enzimas como: la acetilesterasa, peroxidasa, fosfatasa y la pectinesterasa (Castro 2017).

4.3.3.3. Ácidos

En la piel de la naranja se presentan ácidos orgánicos (cítrico, tartárico, málico y oxálico) en manera de sales los cuales son directamente responsables de su acidez haciendo equivalencia a un pH de 5 (Castro 2017).

4.3.4. Digestión Anaeróbica para obtención de biogás

El proceso para la obtención de biogás se conoce como digestión anaerobia el cual consiste en la conversión microbiológica de un residuo en ausencia de oxígeno, generando así varios gases, todo esto dependiendo del residuo degradado, generalmente los gases con más concentración es el dióxido de carbono y el metano. El tiempo de durabilidad depende de muchas variables como lo son la temperatura, el pH del residuo biodegradado y principalmente las características del residuo tratado (Energías Renovables, 2010).

“Los investigadores comprobaron en laboratorio el rendimiento en biogás a diferentes temperaturas, e introdujeron en el proceso microorganismos denominados mesófilos -con una temperatura óptima de crecimiento entre 20 y 45 grados- y termófilos -los que soportan temperaturas por encima de 45-, para ver el comportamiento de ambos grupos frente a la degradación de la cáscara. Es destacable que aproximadamente entre el 50 y el 60 por ciento del procesado de la fruta se transforma en residuos, formados por cáscara y pulpa,” (Energías Renovables, 2010).

Se representa por la presencia de tres fases diferenciadas en el proceso de degradación de sustrato (alimento de los microorganismos) interviniendo diferentes poblaciones de bacterias. (Agencia extremeña de energía, 2013)

“En la digestión anaeróbica puede utilizar residuos ganaderos, agrícolas, así como también residuos de las industrias de transformación de dichos productos (estiércol o excedentes de cosechas),” (Agencia extremeña de la energía, 2013)

4.3.4.1. Fermentación

Es un procedimiento metabólico en cual se genera energía en condiciones anaeróbicas a partir de un azúcar y el desecho es un compuesto orgánico. Se expone distintas rutas de fermentación, las cuales se nombran dependiendo el subproducto formado, como es el caso de la fermentación alcohólica presente en bebidas como cerveza y vino, fermentación láctica que produce el yogurt, fermentación alcohólica para la producción industrial de bioetanol y fermentación metanogénica proceso complejo que involucra varios microorganismos anaerobios que degradan progresivamente sustratos en moléculas orgánicas más simples hasta producir un gas compuesto principalmente de metano(CH₄) y dióxido de carbono(CO₂). (Echeverry, 2019, p.17).

Por último, el proceso de digestión anaeróbica es un proceso complejo que se puede expresar en cuatro fases:

4.3.4.2. Fase de hidrólisis

La fase de hidrólisis dentro de la digestión anaerobia es el primer paso, abarca las enzimas mediadoras de la transformación de materiales orgánicos solubles y componentes más gran de masa molecular como lípidos, polisacáridos, proteínas, grasas y ácidos nucleicos. Esta etapa es generalmente el paso limitante de la digestión anaeróbica cuando la materia orgánica sólida es utilizada como sustrato. (Arenas, 2019)

4.3.4.3. Fase acidogenesis

En la fase hidrolítica se producen monómeros los cuales son absorbidos por distintas bacterias las cuales se disminuyen en ácidos orgánicos de cadena corta como ácido butírico, propiónico, acético, hidrógeno y dióxido de carbono. La concentración de hidrógeno formado como producto intermedio en esta etapa influye en el tipo de producto final formado durante el proceso de fermentación. (Arenas, 2019).

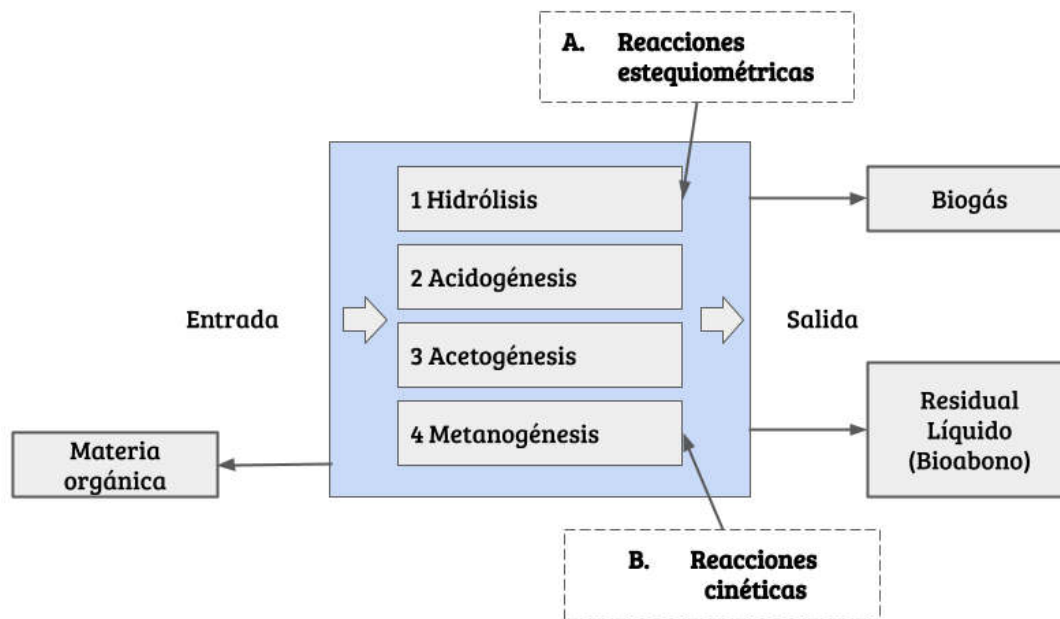
4.3.4.4. Fase acetogénesis

En la fase acidogénica se consiguen productos que son consumidos como sustratos para los demás microorganismos. En esta fase existen productos que no pueden ser convertidos directamente en metano por las bacterias metanogénicas, por lo tanto son convertidos en sustratos metanogénicos, ácidos grasos y alcoholes los cuales son oxidados en sustratos metanogénicos como acetato, hidrógeno y dióxido de carbono. (Arenas, 2019).

4.3.4.5. Fase metanogénesis

La producción de metano y dióxido de carbono a partir de productos intermedios se lleva a cabo por bacterias metanogénicas bajo condiciones anaeróbicas estrictas. La metanogénesis es un paso crítico en la totalidad del proceso de digestión anaeróbica, ya que es la reacción bioquímica más lenta del proceso.

Gráfica 1: Fases del proceso anaerobio



Nota: La gráfica muestra las fases del proceso anaeróbico, plantea la entrada de la materia orgánica, las fases y posteriormente, la transformación de esta en biogás.

Fuente: Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales (CEETA), (2018).

4.3.5. Procesos de purificación del biogás

4.3.5.1. Absorción o Scrubbing

Este es el proceso en el que el CO₂, O₂, H₂S y N₂ se separan del CH₄ mediante el uso de un relleno adsorbente (carbón activado u otro tamiz molecular, como zeolitas). El biogás se lava en contracorriente en una columna con relleno con un líquido absorbente; puede ser, lavado con agua, lavado físico, que se realiza con etilenglicol, y lavado químico que se realiza con aminas. (Hidalgo, 2019)

Así pues, el CO₂ se absorbe en la fase líquida por ser más soluble que el metano, de este modo, para mejorar las condiciones de absorción se opera a temperaturas del orden de 50°C (máx.) y en la modalidad PWS (Pressurised Water Scrubbing) a presión del agua de 7-10 bar pues disminuye el consumo. Es la técnica más comercializada y la de mayor disponibilidad debido a los numerosos suministradores. (Hidalgo, 2019)

Es necesario agregar además que, las plantas que utilizan esta tecnología se componen generalmente de varias columnas trabajando en paralelo.

4.3.5.2. Adsorción

El modelo tecnológico más empleado es la adsorción por variación de presión o PSA (Pressure Swing Adsorption). El proceso de adsorción consta de cuatro etapas:

1. Adsorción a alta presión.
2. Desorción a través de reducción de presión con flujo paralelo y flujo a contracorriente.
3. Desorción a través de purga con biogás sin tratar o con gas acondicionado.
4. Presurización de la columna con biogás sin tratar o con gas acondicionado.

4.3.5.3. Membranas Gas-Gas

Dentro de este proceso el CO₂ se expande por medio de membranas de caucho de silicona, acetato de celulosa o poliamidas, para llevar a cabo este proceso se realiza una operación a altas presiones, donde finalmente, la eficacia dependerá del tipo de material de la membrana. (Hidalgo, 2019)

4.3.5.4. Biofiltración

“Es un proceso biológico utilizado para el tratamiento de compuestos orgánicos volátiles e inorgánicos presentes en la fase gaseosa” (Jimenez & Villegas, 2003). De este modo “la tecnología de la biofiltración proporciona un método de depuración versátil, económico, simple y eficaz, para una gran variedad de compuestos malolientes o tóxicos, en especial en aquellos casos en los que se tienen flujos altos y concentraciones bajas. Su principio consiste en la utilización de un material orgánico o inorgánico, que sirve de soporte físico y, en algunos casos, como fuente de nutrientes para una población de microorganismos. El aire contaminado atraviesa el medio o lecho y se depura, debido a la actividad biológica, arrojando subproductos inocuos y de fácil asimilación (agua y CO₂), (Jimenez & Villegas, 2003, p.4).

4.3.6. Combustibles fósiles

Los combustibles fósiles son hidrocarburos, principalmente están conformados por petróleo, carbón, turba, lignito, antracita o gas natural, cuyo origen se da a partir de

sedimentos de plantas y animales muertos que se encuentran enterrados a grandes profundidades a lo largo de millones de años. El uso de estos combustibles dio paso al desarrollo industrial a gran escala, donde poco a poco se fue reemplazando fuentes energéticas primarias empleadas antiguamente, tales como molinos accionados por agua, molinos de viento, así como la combustión de madera. La mayor fuente de gases de efecto invernadero como el CO₂, es la quema de combustibles fósiles, cuya acumulación permite el forzamiento radiativo y contribuye al calentamiento global. (Jimenez & Villegas, 2003).

4.3.7. Petróleo

El petróleo es un aceite mineral negro, su densidad es menor que la del agua y de un olor acre característico. Está formado por una mezcla de hidrocarburos acompañados de componentes como el azufre, oxígeno y nitrógeno en cantidades variables. El petróleo se encuentra sólo en las rocas sedimentarias, las cuales están sometidas a condiciones extremas de temperatura y presión por la profundidad que estas se encuentran. (Española, 2017).

Según (Española, 2017) El crudo del petróleo es una combinación de hidrocarburos desde especies más sencillas tales como el (CH₄, metano), hasta otras más complejas conformadas con 40 átomos de carbono. Las aplicaciones del petróleo cuando es recién extraído tiene pocas aplicaciones debido a su alto nivel de impurezas. Por tanto para obtener los diferentes derivados se requiere que este pase por procesos de refinado cuya operación principal es la destilación fraccionada.

Después de ser sometido al proceso de destilación comercial se procede a dar cabida a una diversa línea base para distintos campos de uso como lo son los lubricantes, textiles, solventes, aceites polímeros, petroquímica, aceite de sector industrial, transporte, farmacéutica y agropecuarios. Una vez refinado se obtiene, a distintas temperaturas, toda una gama de productos. Sustancias gaseosas tales como metano, etano, propano y butano; líquidas como las gasolinas, el queroseno y el fuelóleo; sólidas como las parafinas y los alquitranes, se obtienen a distintas temperaturas en este proceso.

Los principales usos del petróleo son:

- *Como combustible doméstico e industrial.*
- *Como carburante y lubricante.*
- *Como materia prima básica en la industria petroquímica.*

Por todo lo anterior, se puede afirmar que el petróleo ocupa un papel importante, no sólo en el campo de los suministros energéticos, sino también en el de la industria química, (Española, 2017).

4.3.8. Gasolina

La gasolina es un hidrocarburo derivado del petróleo, se utiliza comúnmente como combustible en motores de combustión interna con encendido a chispa convencional o por compresión (DiesOtto), se usa en otras áreas y propósitos como en estufas, lámparas, limpieza con solventes y otras más. En un litro de gasolina se tiene una energía de 34,78 megajulios, aproximadamente un 10% menos que el gasoil el cual posee una energía de 38,65 megajulios por litro de carburante. Se destaca que a nivel de masa, la gasolina tiene 3,5% más de energía, (Gomez, et al, 2017)

En la actualidad existen distintas alternativas a la gasolina, entre ellas las más destacadas son:

4.3.8.1. La biogasolina

Es una opción que busca la producción de gasolina con un alto contenido energético y que a su vez resulte amigable con el medio ambiente a diferencia de la gasolina tradicional proveniente del refino de petróleo. Este carburante al igual que el biobutanol puede usarse en motores de combustión interna con encendido a chispa sin modificar. actualmente sus procesos están en una etapa de desarrollo, sin embargo hay algunas compañías que apoyan esta alternativa pensando en el precio del petróleo que cada día tiene un costo de producción y venta elevado, (Gomez et al, 2017)

4.3.8.2. Butanol

Actualmente se presentan investigaciones del butanol, un alcohol que tiene una composición muy similar a la gasolina, aunque con una particularidad, pues este permite tolerar mejor la contaminación por agua y por su similitud con la gasolina es posible utilizarse en vehículos con encendido a chispa sin recurrir a alterar o modificar, aunque, es importante destacar que los métodos para producirlo aún necesitan perfeccionarse, y posteriormente llevarse al trabajo a gran escala. Creadores como BP y DuPont recomienda su uso, esto debido a la posibilidad de producirlo a partir de plantas y algas (EcuRed, 2011).

4.3.9. Biomasa

Siendo una materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, tiene carácter de energía renovable por su contenido energético, en última instancia esta procede de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético. Si se rompen los enlaces de los compuestos orgánicos ya sea por combustión directa de biomasa o transformaciones físicas o químicas, para dar dióxido de carbono y agua como productos finales, se libera energía, (Romero, 2010, p. 35).

Hasta la revolución industrial, la biomasa fue la fuente de energía más importante para el ser humano, sin embargo ésta quedó relegada a un segundo lugar por el uso masivo de combustibles fósiles. Se entiende como biomasa a toda la materia orgánica susceptible de ser utilizada como fuente de energía. La energía de la biomasa puede originarse tanto de animales como vegetales, esta puede haber sido obtenida de manera natural o proceder de transformaciones artificiales que se realizan en las centrales de biomasa. Para que esta materia se convierta en energía es necesario aplicar distintos procesos químicos, (Romero, 2010).

El sol es la fuente directa de la energía de biomasa, los vegetales y los animales absorben y almacenan una parte de la energía solar que llega a la tierra en forma de alimento y energía. Cuando esto ocurre, también se crean subproductos que no sirven para los seres vivos pero, estos no pueden ser utilizados para fabricar alimentos, sin embargo sí para hacer energía de ellos, (Romero, 2010).

Existen diferentes procesos para transformar la biomasa en energía aprovechable, pero en la actualidad es posible destacar dos de ellos;

4.3.9.1. Métodos termoquímicos

Se implementa calor como método para transformar la biomasa. Cabe resaltar que los materiales que funcionan mejor son los de menor humedad (madera, paja, cáscaras, etc.). Se utilizan para:

4.3.9.1.1. Combustión

Se origina al quemar la biomasa con mucho aire (20-40% superior al teórico) a una temperatura entre 600 y 1.300°C. Este es el modo más simple para recuperar la energía de la

biomasa, del cual salen gases calientes para producir calor, permitiendo así poder utilizarla en hogares, en la industria y para producir electricidad, (Endesa, 2021)

4.3.9.1.2. Pirólisis

Se implementa calor para descomponer la biomasa (a unos 500°C) sin oxígeno. Este proceso da como resultado gases formados por hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos, líquidos y residuos sólidos carbonosos. Históricamente este proceso se a utilizado durante años para hacer carbón vegetal, (Endesa, 2021)

4.3.9.1.3. Gasificación

Se da cuando hay una combustión lo que produce diferentes elementos químicos: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno (H) y metano (CH₄), en cantidades diversas. La temperatura de la gasificación oscila entre 700 y 1.500°C y el oxígeno entre un 10 y un 50%. Según el fluido gaseoso a utilizarse, sea aire u oxígeno, se crean dos procedimientos de gasificación distintos. Por un lado, el gasógeno o “gas pobre” y por otro el gas de síntesis. Este último se basa en combustibles líquidos (metanol y gasolinas) y de ahí su importancia. Por lo que se están haciendo grandes esfuerzos para mejorar el proceso de gasificación con oxígeno, (Endesa, 2021)

4.3.9.1.4. Co-combustión

El método consiste en la utilización de la biomasa como combustible de apoyo al tiempo que se realiza la combustión de carbón en las calderas. Con este proceso se reduce de forma parcial el consumo de carbón y las emisiones de gases contaminantes como el CO₂, (Endesa, 2021)

4.3.9.2. Métodos bioquímicos

Se llevan a cabo utilizando diferentes microorganismos que degradan las moléculas. Se utilizan para biomasa de alto contenido en humedad. Los más corrientes son:

4.3.9.2.1. Fermentación alcohólica

Esta técnica que consiste en la fermentación de hidratos de carbono los cuales se encuentran en las plantas y estas presentan un porcentaje de alcohol (etanol) que se puede utilizar para la industria, (Endesa, 2021)

4.3.9.2.2. Fermentación metánica

Es el proceso de digestión anaerobia en ausencia de oxígeno de la biomasa, se da a lugar cuando la materia orgánica se descompone (fermenta) y se crea el biogás, (Endesa, 2021)

4.3.9.3. Sistemas de aprovechamiento de biomasa

Existe una gran variedad de biomasa a la se aplican distintas tecnologías, el resultado es energía alternativa que puede utilizarse de diferentes formas o campos, (Endesa, 2021)

4.3.9.3.1. Producción de energía térmica.

Consiste en sistemas de combustión directa. Estos se pueden utilizar para dar calor, que se puede utilizar de manera directa para: cocinar alimentos o secar productos agrícolas. También es posible aplicar en la industria generando vapor lo que a su vez representa una fuente de energía que favorece a la industria que genera electricidad. Su mayor inconveniente es la contaminación que generan, (Endesa, 2021)

4.3.9.3.2. Producción de biogás

Su objetivo es la obtención de combustible, primordialmente el metano, que es un gas útil para aplicaciones térmicas en el sector ganadero y agrícola, suministrando así electricidad y calor, (Endesa, 2021).

4.3.9.3.3. Producción de biocombustibles

Se presenta como una alternativa a los combustibles tradicionales en el industria de transporte y tienen un grado de desarrollo particularmente desigual en los diferentes países. Existen dos tipos de biocombustibles:

4.3.9.3.3.1 Bioetanol

Combustible que reemplaza el uso de la gasolina. En el caso particular del etanol, actualmente se obtiene de cultivos tradicionales como lo es el maíz, el cereal y la remolacha (Endesa, 2020)

4.3.9.3.3.2. Biodiesel

Su principal objetivo es la sustitución del gasoil. se proyecta que en un futuro servirá para variedades de usos, orientadas a favorecer las calidades en cuestión de producción de energía, (Endesa, 2020)

Cabe destacar que la mayor parte de la biomasa para la generación de bioenergía proviene de los bosques, la agricultura y desechos orgánicos e inorgánicos provenientes de industria y hogares, siendo estas fuentes importantes de obtención energética- (Castro, 2017)

4.3.9.4. Tipos de biomasa

Existen tres tipos principales de biomasa, se clasifican en: azúcares y almidones, la celulosa y lignocelulosa y los lípidos; a estos últimos se les atribuye el derivado de las materias primas de bioenergía. Los lípidos se componen de moléculas ricas en energía insolubles en agua, tales como grasas, aceites y ceras. Son una fuente agrícola común de aceites para la producción de biodiesel (Castro, 2017)

Los azúcares y los almidones cuentan con una composición de carbohidratos que habitualmente se encuentran en las porciones comestibles de los cultivos alimentarios, y actúan como fuentes de biocombustibles de primera generación. La celulosa y la lignina de la biomasa están compuestas de carbohidratos complejos y moléculas que se encuentran típicamente en las hojas y tallos de las plantas (Castro, 2017)

4.3.9.5. Extracción De Biomasa

La materia orgánica contenida en los residuos y biomasa se biodegrada en ausencia de oxígeno por acción de microorganismos para producir CH₄ y CO₂ mayoritariamente. Dentro de los procesos que existen para la extracción de la biomasa se encuentran:

4.3.10. Bioenergía

La bioenergía es una tecnología renovable, derivada de materiales biológicos vivos o biomasa como lo son los residuos orgánicos. Las fuentes de energía fósil de carbono, como el carbón y el petróleo, no son parte de las fuentes de bioenergía, ya que estos materiales son el resultado de procesos geológicos los cuales transformaron plantas que vivían hace miles de años, (Castro, 2017).

La bioenergía se convirtió en una forma de energía renovable ya que la energía contenida en la biomasa es energía del sol, que es capturada a través de procesos naturales de fotosíntesis. Las diferentes formas de bioenergía incluyen calor, energía y combustibles sólidos, líquidos y de gas. Los usos de estas diversas formas de bioenergía han dado cabida a distintas aplicaciones industriales, residenciales y comerciales, (Castro, 2017)

Según la Organización Mundial de la Salud (2016) “la mayor parte de esta energía se consume en países en vías de desarrollo, donde entre 2 y 3 mil millones de personas emplean biomasa, como madera, residuos agrícolas, residuos domésticos, carbón vegetal y desechos animales como fuente de energía”, (Organización Mundial de la Salud, 2016).

Se destaca que entre los residuos domésticos se encuentren presentes los desechos de frutas, como es el caso de la fruta cítrica naranja la cual es muy usada en el hogar por su contenido nutricional, Según la revista “El país” en su artículo: cien veces más CO₂ en cordero que en las naranjas da a conocer los datos de un proyecto impulsado por la unión de pequeños agricultores los cuales presentan que por cada 1 kg de cáscara de naranja desechada se generan 91 g de CO₂. (Rico, 2014)

La gran mayoría de países en vía de desarrollo optaron por implementar la bioenergía dando como resultado un modelo sostenible, lo que implica que la utilización de esta alternativa es viable desde el punto de vista económico y técnico, (Castro, 2017)

4.3.11. Biocombustibles

Los biocombustibles pueden ser cualquier tipo de combustibles provenientes de la biomasa. Para que estos sean considerados biocombustibles el combustible debe alcanzar un 80% de material renovable, (Castro, 2017,)

La biomasa puede ser empleada como biocombustible mediante diferentes métodos, siendo el más conocido su incineración. Durante muchos años las personas quemaron madera para producir calor y cocinar, el problema con quemar la biomasa es que la energía no es aprovechada al máximo”, (Castro, 2017)

“Un método eficiente para la elaboración de biocombustibles es la conversión de los carbohidratos de la biomasa en combustible, a través de un proceso químico, en el cual, los carbohidratos se transforman en alcohol, que es un combustible líquido. Otro método común para la elaboración de los biocombustibles es la transformación de aceites vegetales o grasas animales en biodiesel”, (Castro, 2017, p.12)

“Los biocombustibles se clasifican en: biocombustibles de primera generación los cuales provienen de aceites, azúcares y almidones originados en cultivos alimentarios. Los biocombustibles de segunda generación, que provienen de cultivos no alimentarios tales como pastos perennes y materiales leñosos y porciones no alimentarias de cultivos alimentarios. Por último, los biocombustibles de tercera generación, que son producidos a partir de algas que pueden producir múltiples tiempos en mayores rendimientos.

Los biocombustibles podrían suministrar hasta el 27% del combustible mundial de transporte para el 2050. La producción de biocombustibles puede expandirse de manera sostenible, implementando tipos de energía limpia y renovable, aplicándose a las tecnologías y acciones que se enfrentan en la actualidad”, (Castro, 2017, p.12)

4.3.11.1. Biocombustibles sólidos

Los biocombustibles sólidos más importantes provienen de la cáscara de frutos secos, la paja, la leña y sobrantes de podas, la madera y el mueble constituyen una materia prima de calidad para utilizarla como biocombustible sólido. Mediante la combustión de esta biomasa se obtiene energía que se aprovecha directamente como energía térmica o se transforma en energía eléctrica. El poder calorífico inferior, variable con la humedad del combustible, es la característica más representativa de su calidad, (Romero, 2010).

4.3.11.2. Biocombustibles líquidos

La denominación de biocombustibles líquidos o biocarburantes se aplica a una serie de productos de origen biológico utilizables como combustibles de sustitución de los derivados de petróleo o como aditivos de éstos para su uso en motores. Actualmente sólo son comerciales los de primera generación, etanol (y etilterbutil éter obtenido a partir de él) y biodiesel, (Romero, 2010).

4.3.11.3. Biocombustible Gaseoso

A partir de la biomasa se pueden obtener varios combustibles gaseosos como biogás, gas de gasógeno y gas de síntesis e hidrógeno. La fermentación anaeróbica (biogás) es un proceso empleado en la depuración de aguas residuales y efluentes orgánicos de industrias agrarias o explotación ganadera la aplicación de este procedimiento a la biomasa da lugar al biogás. El poder calorífico del biogás está determinado por la concentración de metano ($9.500\text{kCal}/\text{m}^3$). Y para aumentar este parámetro es necesario eliminar todo o parte del CO_2 que le acompaña, (Romero, 2010).

4.3.12. Biodiesel

El biodiesel es un combustible derivado de ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos procedentes de aceite vegetal o grasa animal y aceite de fritura de desecho. Existe una serie de aceites vegetales comercialmente disponibles que pueden ser empleados como base para la producción de combustibles. Comúnmente provienen de soja, girasol, canola, ricino, y palma, dependiendo de la región.

Una ventaja del biodiesel es que puede reemplazar parcial o totalmente al aceite mineral en motores de automóviles, ya sea puro o mezclado con diésel en adecuadas proporciones. También puede utilizarse en la generación de electricidad, (Castro, 2017).

4.3.13. Bioetanol

“El bioetanol se obtiene por la fermentación de hidratos de carbono fermentables sintetizados por las plantas. Las plantas a través del proceso de fotosíntesis, sintetizan moléculas orgánicas simples como los monosacáridos (glucosa, fructosa, etc.), a partir de las cuales, se producen moléculas complejas como el almidón, celulosa y hemicelulosa, que se acumulan en hojas, tallos y frutos”, (Castro, 2017, p. 13)

“La producción de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos se basa en tecnologías que hidrolizan la biomasa celulósica a azúcares fermentables. El primer paso es el proceso de fermentación lignocelulosa la cual rompe la barrera de la lignina y la estructura cristalina de la celulosa”, (Castro, 2017, p. 13)

“Para la obtención del bioetanol es necesario realizar una fermentación previa, la cual produce el alcohol hidratado, con un contenido aproximado del 5 % de agua, que tras ser deshidratado se puede utilizar como combustible”, (Castro, 2017, p. 13).

“El etanol o alcohol anhidro se usa en calidad de combustible, en mezclas con gasolina en concentraciones del 5 o el 10% en volumen. Para el efecto, no se requieren modificaciones en los motores actuales. El bioetanol, puede emplearse también en calidad de aditivo de la gasolina, en vez de sustituto, para ajustar el octanaje y lograr reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera”, (Castro, 2017, p. 13)

El etanol anhidro se clasifica en:

4.3.13.1 Etanol anhidro grado carburante desnaturalizado

“Al cual se le agrega una sustancia desnaturalizada en un pequeño porcentaje entre 2 y 3% de nafta.

Hoy por hoy, el bioetanol es el biocombustible con mayor demanda mundial; para su producción, se pueden usar materiales lignocelulósicos de mayor potencial energético que los materiales de primera generación, con la ventaja de que estos son productos no alimentarios, esto es, biomasa residual”, (Castro, 2017, p.14)

4.3.13.2. Celulosa

“La biomasa celulósica de las paredes de las células vegetales es el recurso orgánico renovable más grande de la Tierra y su uso no compite directamente con el suministro de alimentos. Por lo tanto, junto con su conversión a combustibles, químicos, energía y nuevos materiales; mantener un equilibrio entre su producción y consumo, se convierte en uno de los factores decisivos para resolver los problemas causados por el rápido consumo de recursos fósiles”, (Castro, 2017, p. 15)

“Los residuos de frutas son abundantes en la naturaleza; químicamente son polímeros de glucosa; α -D Glucosa y β - D glucosa, para almidón y celulosa respectivamente. La celulosa presenta dos regiones: la región amorfa y la región cristalina. La región cristalina debe ser hidrolizada para liberar las moléculas de glucosa, mientras que la región amorfa es más susceptible a reacciones químicas”, (Castro, 2017, p. 15)

“Las moléculas de amilosa están constituidas de 200 a 2000 moléculas de glucosa, que se encuentran unidas por enlaces glucosídicos α -1,4 en cadenas no ramificadas, tales como se muestran en la figura 1. Las moléculas de amilopectina, son más grandes que los residuos de glucosa y se enlazan mediante enlace α -1,6”, (Castro, 2017, p. 15)

“La producción de bioetanol desempeña un papel central en el sistema de conversión de celulosa debido a su alta productividad y aplicabilidad como combustible líquido y recurso químico”, (Castro, 2017, p.16)

4.3.14. Madera

La utilización de la madera como fuente de energía; es la energía producida por la madera en general mediante procesos de combustión utilizada para cocinar, calefacción o para generar electricidad.

Este tipo de combustible incluye la biomasa leñosa sin procesar extraída de los troncos, las ramas u otras partes de los árboles y, a veces, incluye también los residuos madereros (p.ej., el aserrín y las virutas de madera) derivados del aprovechamiento maderero o de las industrias de transformación y utilizados para la producción de energía, (Agricultura, 2020).

“La quema de madera para obtener energía puede conducir a un aumento del 6% en las emisiones de carbono”. Esa es la visión crítica de uno de los principales expertos en clima de Gran Bretaña, el profesor John Beddington, quien advirtió que depender de la tala y quema de árboles para sustituir el uso de combustibles fósiles podría tener un efecto rebote peligroso. La madera liberará cuatro veces más carbono a la atmósfera que el gas, y una vez y media más que el carbón, (Roca, 2018).

4.2.15. Hemicelulosa

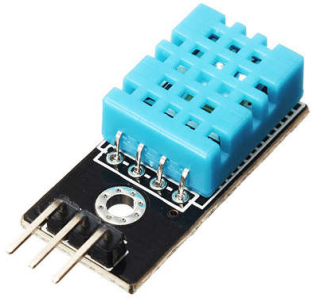

“La hemicelulosa está compuesta por polímeros de diferentes azúcares, con cadenas más cortas y ramificadas, lo que la hace más amorfa y más fácil de hidrolizar en sus azúcares constituyentes de celulosa. La hemicelulosa garantiza la fusión entre la lignina y la celulosa, que brinda rigidez a la pared celular y la hace insoluble en agua. Los monosacáridos más comunes de la hemicelulosa son: glucosa, manosa y galactosa que son hexosas y xilosa y

arabinosa que son pentosas mostrados en la figura 3, además de algunos ácidos urónicos”, (Castro, 2017, p.17).

4.4. Marco tecnológico

Para el desarrollo de este trabajo fue necesario utilizar una estructura física que comprende diversos materiales y dispositivos, además de la plataforma Arduino para la creación de la parte electrónica del proyecto, el Software Autodesk Inventor y Solid Works para el diseño asistido por computadora.

Tabla 1: Componentes de la plataforma Arduino

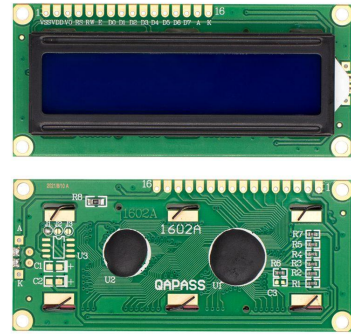
COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	ILUSTRACIÓN
Sensor de temperatura DTH11	Este sensor permite medir la temperatura y la humedad	 <p>Tomado de: https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/sensor-dht11-temperatura-humedad-arduino/</p>
Sensor MQ2	Este sensor detecta gas butano y otros tipos de gases	 <p>Tomado de:</p>

<https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/71-sensor-mq-2-gas-natural-y-glp.htm>

1

Pantalla display LCD

Esta pantalla permite visualizar los datos arrojados de los proyectos creados



Tomado de:

<https://uelectronics.com/producto/display-lcd-16x2-con-fondo-azul/>

Bidón

Es un recipiente hermético, de forma cilíndrico fabricado en plástico que es utilizado para contener o almacenar



Tomado de:

<https://www.todocontenedor.es.com/producto/bidon-de-plastico-cierre-de-ballesta-cuerpo-azul-60-litros.html>

Manguera AUTO-TG 3/16"

Es un material no férnico
óptimo para instalaciones de
fontanería, gas y calefacción
en los hogares



Tomado de:

<https://www.centraldemangueras.com.co/productos/mangueras-industriales/mangueras-automotriz/manguera-caucho-auto-tg/20/26/148>

Manometro para baja presión
de gas

Los manómetros miden la
presión de un fluido o gas, la
regulan y controlan



Tomado de:

<https://termocuplas.com.co/producto/manometro-para-baja-presion/>

Angulos de acero inoxidable
de 1 pulgada x 1 pulgada- 1
octavo

Los ángulos son usados para
el soporte de una
infraestructura



Tomado de:

https://es.made-in-china.com/co_wholesalesmart/product_High-Quality-Stainless-Steel-Angle-Bar-Angle-Iron_uoignnhoyg.html

Sensor MQ4

Está diseñado para detectar gas metano



Tomado de:

<https://www.tuvtio.com/categorias/2-electronica/1807-modulo-sensor-mq-4-natural-gas-methane>

Válvula de esfera ¼ de pulgada

Esta válvula controla el flujo del gas para un óptimo funcionamiento y como medida de seguridad.



Tomado de:

<https://www.amazon.com/-/es/V%C3%A1lvula-pulgadas-compresor-v%C3%A1lvula-apagado/dp/B0823QBKFV>

Celda peltier de 40 x 40 milímetros

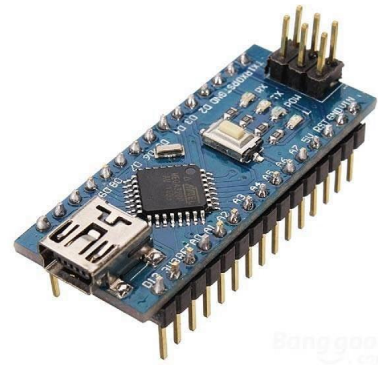
Esta genera una diferencia de temperatura entre sus caras al circular la corriente



Tomado de:
<https://uelectronics.com/producto/celda-peltier/>

Arduino nano

Placa de desarrollo para múltiples procesos



Tomado de:
<https://www.tuvtio.com/categorias/2-electronica/1769-arduino-nano>

Termocupla

Mide la temperatura en condiciones extremas

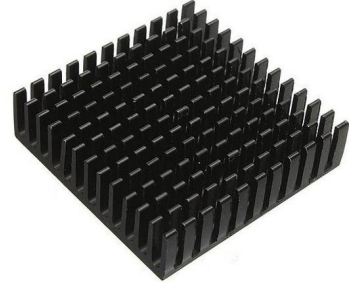


Tomado de:

<http://camsmark.com/producto/codigo-74-11-termocupla-tipo-j/>

Disipadores de calor

Estos intercambian el calor que extrae a un fluido

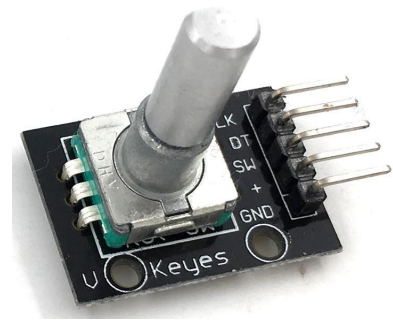


Tomado de:

<https://electronicathido.com/detallesProducto.php?id=aWlTbHc0UnE4K3puMkNnTmZ5UlhVZz09>

Encoder rotatorio ec11

Este convierte el movimiento rotacional en una señal eléctrica



Tomado de:

<https://www.makercreativo.com/store/producto/encoder-incremental-mecanico-20-pulsos/>

Transistor 530 N

Este regula el flujo de corriente

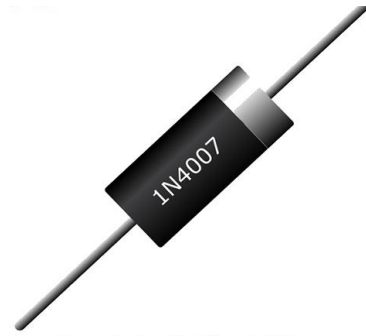


Tomado de:

https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-757001215-irf530n-irf530-irf-530n-transistor-mosfet-n-100v-17a-_JM

Diodo 1n4007

Este permite la circulación de corriente en un solo sentido



Tomado de:

<https://www.electronicaplugandplay.com/componentes-discretos/product/663-1n4007-th-diode>

Regulador AMS 1177

Este regula el voltaje

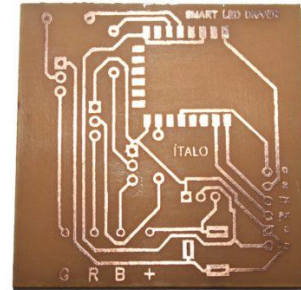


Tomado de:

<https://circuitosdigitalesdemexico.com.mx/producto/ams>

Placa de circuito impreso
PCB

Esta placa se utiliza para conectar diferentes componentes eléctricos a través de las pistas conductoras, a la vez que se sostienen mecánicamente por medio de la placa no conductora el conjunto de componentes



Tomado de:
<https://www.filipeflop.com/blog/como-fazer-uma-placa-de-circuito-impreso/>

Nota: Este cuadro muestra los componentes de la plataforma Arduina además de los diferentes materiales que se usaron para el desarrollo de la estructura física del proyecto.

Fuente: Elaboración propia (2020).

4.5. Conceptos de diseño

En la producción estándar de biogás a partir de desechos orgánicos, en la mayoría de los casos la descomposición de los residuos orgánicos se efectúa al aumentar la temperatura de los mismos, esto mediante una membrana plástica, donde no se tiene un control de la producción de biogás que este genera, siendo un proceso lento que depende de la energía solar, de esta manera las pérdidas generadas son altas.

Debido al análisis de este proceso se proyecta el método tecnológico para la planeación del diseño de un prototipo de máquina que permita la producción de biogás. Este proceso inicialmente se trabaja desde un sistema controlado con procesos termodinámicos, electrónicos y mecánicos.

Según las especificaciones a tener en cuenta para el diseño de la máquina, y de acuerdo al desarrollo que se efectúe a diario habrán modificaciones que sean pertinentes para cada fase y prueba realizada, estas modificaciones se basan en:

1. Movimiento.
2. Presión.
3. Consumo de energía.
4. Revolución y potencia de la bomba de vacío.
5. Número de variables a controlar.
6. Dimensiones
7. Reducción de tiempo, aumento de producción de biogás.
8. Efectividad y resultados.

4.5.1. Análisis del proceso y del producto.

4.5.1.1 Condiciones de entrada de los residuos de la naranja

Se requiere que la materia prima (residuos de la naranja) contenga la menor cantidad de líquidos posible, ya que esto puede demorar el proceso anaeróbico.

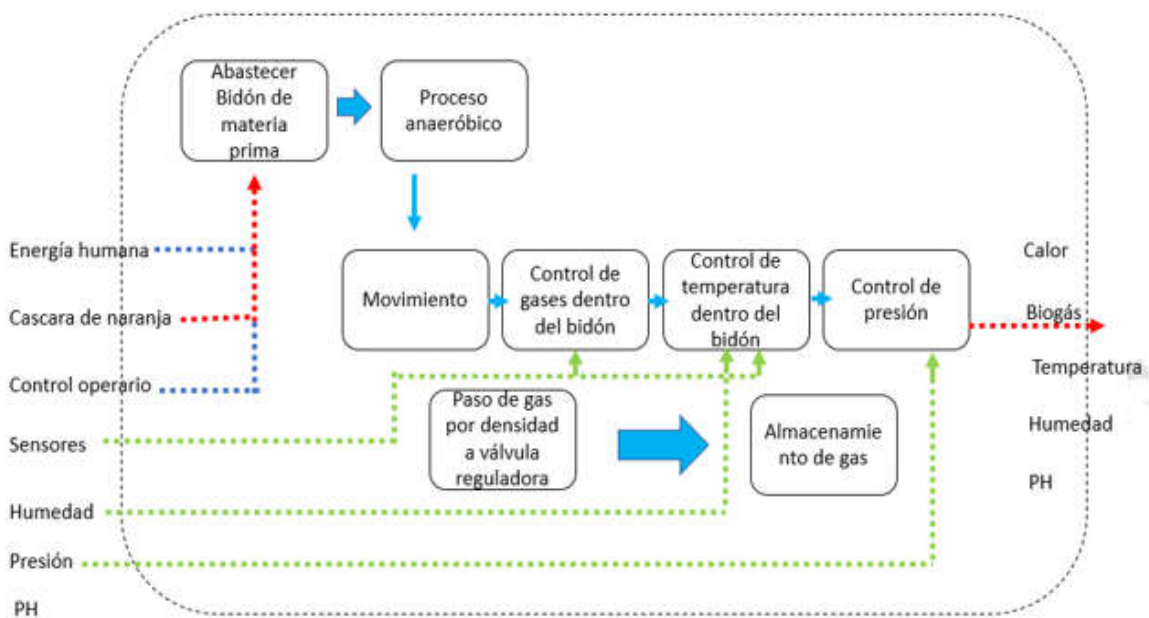
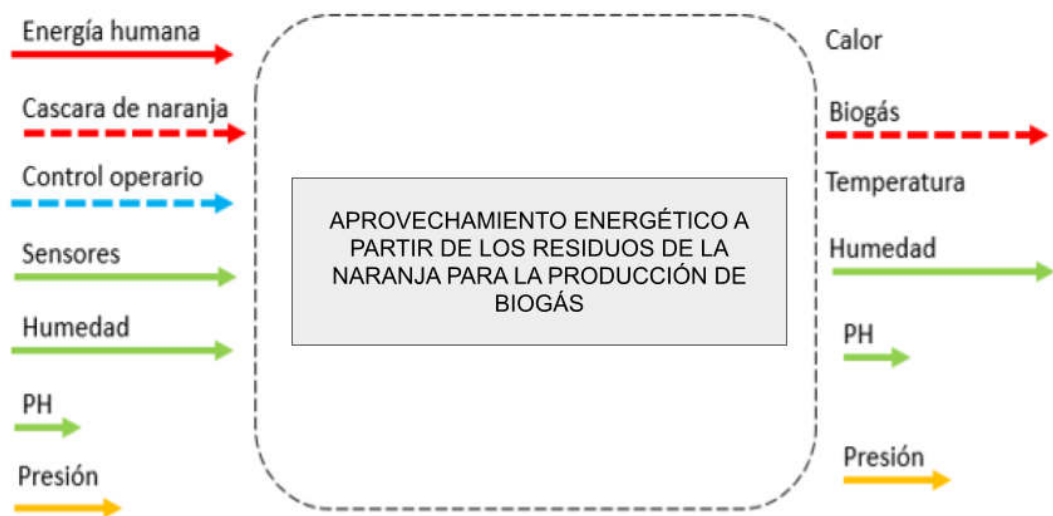
4.5.1.2 Condiciones de salida del producto

Se obtiene biogás mediante proceso anaeróbico, el cual tiene un control de temperatura y presión para finalmente ser almacenado.

4.5.1.3 Análisis funcional

Teniendo en cuenta las condiciones de entrada y salida de los residuos de la naranja es posible obtener las variables sobre las cuales se puede ejercer un control para asegurar el funcionamiento correcto y que las variaciones dentro del mismo, no afecten al sistema.

Gráfica 2 y 3: Caja negra transparente



Fuente: Elaboración propia

4.6. Tecnologías existentes para producción de biogás

Tabla 2: Ficha de lectura

Título	Viabilidad Económica de la Utilización de Biogás para la Conversión en Energía Eléctrica (2011)
Autores	Ricardo G. Cervi

Maura S. T. Esperancini

Osmar de C. Bueno

Variables

- Temperatura
- Humedad

Elementos

- Reactor
- Generador de electricidad
- Motor- generador

Descripción Se ha determinado la viabilidad económica para la conversión del biogás en electricidad, a partir del aprovechamiento de desechos de un criadero de cerdos. El biodigestor analizado es un modelo tubular continuo, con zanja para agua en albañilería y un contenedor cerrado, hermético e impermeable, donde son depositados diariamente los desechos de 2300 cerdos. La inversión inicial para la implementación fue estimada en aproximadamente R \$51.537 y los costos anuales del sistema fueron de R \$5.700 con mantenimiento, R \$4.400 con depreciación y R \$1.370 con los intereses. Se encontró que un consumo medio de 28 kW-hora-1 es el consumo mínimo que debe tener el sistema para ser económicamente factible.

Tabla 3: Ficha de lectura

Título Diseño y construcción de un biodigestor anaeróbica vertical semicontinua para la obtención de gas metano y biol a partir de las cáscaras de naranja y mango (2016)

Autores Anthony William Gonzabay Valdiviezo
Pablo Moises Suárez Monroy

Variables	<ul style="list-style-type: none"> ● Temperatura ● Humedad ● PH
Elementos	<ul style="list-style-type: none"> ● Biodigestor ● Modelo tubular ● Membrana hermética
Descripción	<p>En la elaboración de este proyecto se pretende realizar el diseño y construcción de un biodigestor anaeróbico vertical semicontinuo para la obtención de gas metano y biol a partir de la cáscara de naranja y mango esto se logra al estimar los parámetros de diseño de biodigestor de diseño anaeróbico vertical semicontinuo, calculando la cantidad de gas metano y biol estimado que podría generar el biodigestor, además de construir y operar el biodigestor anaeróbico semicontinuo para la obtención de gas metano y biol Se deberá tener también el control de los parámetros operacionales dentro de los rangos establecidos para un adecuado funcionamiento del biodigestor. Esto se logrará realizando tres pruebas a diferente masa y temperatura para saber cuál fue la presión de salida máxima y biol del biodigestor.</p> <p>De este modo, el proyecto podrá servir como guía para la construcción de biodigestores similares, así como manual para su uso correcto, con recomendaciones y consejos prácticos. Además, las conclusiones obtenidas en los experimentos, servirá para posteriores ensayos.</p> <p>Por otro lado, se plantean posibles experimentos y aplicaciones futuras, sirviendo de este modo el biodigestor no solo para la realización de este proyecto, si no para posteriores usos y aplicaciones del mismo.</p>

Tabla 3: Ficha de lectura

Título	Desarrollo del proceso de producción de biogás y fertilizante orgánico a partir de mezclas de desechos de procesadoras de frutas (2010)
Autores	Omar Guillermo Chiriboga Novillo
Variables	<ul style="list-style-type: none"> ● Temperatura ● Tiempo de retención ● PH
Elementos	<ul style="list-style-type: none"> ● Manómetros ● Válvula de gas ● Mangueras ● Resistencia
Descripción	La elaboración de este proyecto de investigación es la fabricación de las condiciones de operación adecuadas para la digestión anaeróbica de desechos orgánicos de plantas procesadoras de fruta con el fin de maximizar la producción de biogás y la degradación de la materia orgánica.

Tabla 4: Ficha de lectura

Título	Producción de biogás mediante fermentación líquida de los residuos sólidos de piña y naranja (2019)
Autores	<p>José Vera-Loor</p> <p>Gema Anchundia-Vélez</p> <p>María Sccipa-Mendoza</p>
Variables	<ul style="list-style-type: none"> ● Temperatura

- Tiempo de retención
- PH
- Agitación

Elementos

Descripción Este proyecto de investigación se enfoca en el estudio de una mezcla de los residuos de las cáscaras de frutas utilizando el microorganismo *Escherichia Coli* para su aprovechamiento en la digestión anaerobia en fermentación líquida. En el acondicionamiento y desarrollo experimental se tomaron en consideración parámetros como la concentración de materia orgánica, expresada como demanda química de oxígeno, temperatura, tiempo de retención y pH. La velocidad de degradación está expresada como la producción de biogás bajo diferentes condiciones. Los sustratos utilizados para esta investigación fueron los residuos de la cáscara de naranja y piña. El reactor que se utilizó en este estudio es un biorreactor de laboratorio que posee un sistema de control manual para los principales parámetros: temperatura, pH y agitación. Obtenidos estos resultados se prosigue con el diseño de un biodigestor anaerobio para la obtención de biogás.

Se concluye que el tiempo de retención estimado para la producción de biogás de acuerdo o al prototipo realizado es de 30 días, con lo que se garantiza la funcionalidad del diseño y la generación de los productos de la digestión anaeróbica. Se recomienda la aplicación de este proyecto como una alternativa viable para el manejo adecuado de los residuos orgánicos y la protección del ambiente.

Tabla 5: Ficha de lectura

Título	Diseño teórico de una planta de producción de biogás a partir de residuos de naranja en la ciudad de Bogotá (2022)
---------------	--

Autores Sebastián criollo Marín
Esteban rodríguez cuervo

VARIABLES

- Temperatura
- PH
- Tiempo

Elementos

- Tanque de almacenamiento

Descripción En el desarrollo de este trabajo de grado se presenta una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos como lo son; cáscaras de naranja y excretas bovinas, adicional a esto se plantea un posible diseño de una planta que puede ser usado para la producción de biogás. Inicialmente se realizó la búsqueda de los conceptos y principios sobre la producción de biogás entre ellos tenemos: composición y propiedades del biogás, características y composición de la cáscara de naranja y de las excretas bovinas, se estudió el proceso de digestión anaeróbica donde a lo largo del primer capítulo se describe las distintas etapas que comprenden el proceso; hidrólisis, etapa fermentativa o acidogénica, la etapa acetogénica y la etapa metanogénica

Nota: Las tablas 1, 2, 3, 4 y 5 corresponden a fichas de lectura de elaboración propia basadas en modelos y tecnologías usadas para la obtención de biogás comprendiendo diferentes aportes, y se escogieron como marco referencial para el planteamiento del presente trabajo.

Fuente: Elaboración propia

4.7. Marco legal

4.7.1. Ley 9 de 1979

Según la normatividad vigente en Colombia, se trae a colación la LEY 9 DE 1979, por la cual se dictan las medidas sanitarias. De este modo, esta ley presenta el panorama para

el diseño, construcción de equipos, maquinarias y herramientas que tengan que ver con el manejo de residuos sólidos. Así pues, la ley plantea en su articulado lo siguiente:

ARTÍCULO 112.

“Todas las maquinarias, equipos y herramientas deberán ser diseñados, construidos, instalados, mantenidos y operados de manera que se eviten las posibles causas de accidente y enfermedad. Calderas y recipientes sometidos a presión” (Congreso de la República de Colombia, LEY 9 DE 1979).

ARTÍCULO 113.

“Las calderas, cilindros para gases comprimidos y otros recipientes sometidos a presión, sus accesorios y aditamentos deberán ser diseñados, construidos y operados de acuerdo con las normas y regulaciones técnicas y de seguridad que establezcan las autoridades competentes” (Congreso de la República de Colombia, LEY 9 DE 1979).

ARTÍCULO 114.

“En todo lugar de trabajo deberá disponerse de personal adiestrado, métodos, equipos y materiales adecuados y suficientes para la prevención y extinción de incendios” (Congreso de la República de Colombia, LEY 9 DE 1979).

ARTÍCULO 115.

“Para el cumplimiento de las disposiciones de este capítulo en la fabricación, almacenamiento, manejo, transporte y comercio de sustancias inflamables o explosivas, el Ministerio de Salud, en concordancia con las autoridades competentes, expedirá las reglamentaciones pertinentes” (Congreso de la República de Colombia, LEY 9 DE 1979).

ARTÍCULO 116.

“Los equipos y dispositivos para extinción de incendios deberán ser diseñados, construidos y mantenidos para que puedan ser usados de inmediato con la máxima eficiencia. Fabricantes, distribuidores y agencias de mantenimiento de tales equipos estarán sujetos a la vigilancia del Ministerio de Salud o de la autoridad a quien éste delegue y deberán garantizar la eficacia de los equipos. Manejo de residuos sólidos” (Congreso de la República de Colombia, LEY 9 DE 1979).

4.7.2. Decreto 1713 de 2002 Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial (MAVDT)

Establece normas orientadas a reglamentar el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de los residuos sólidos ordinarios, en materias referentes a sus componentes, niveles, clases, modalidades, calidad, y al régimen de las personas prestadoras del servicio y de los usuarios. Modificado por el Decreto 1505 del 4 de junio de 2003, en relación con los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS.

4.7.3. Norma Técnica Colombiana NTC 522-1

Según La Norma Técnica Colombiana Ntc 522-1 cilindros de acero con costura para gases licuados de petróleo (glp) con capacidad desde 5 kg incluido, hasta 46 kg excluido.

4.7.3.1. Objeto y campo de aplicación

4.7.3.1.1. Objeto

Esta norma establece los requisitos de diseño y fabricación que deben cumplir y los ensayos a los cuales se deben someter los cilindros de acero con costura, destinados al almacenamiento, transporte y distribución, de propano, butano o sus mezclas en cualquier proporción con capacidad desde 5 kg incluido, hasta 46 kg excluido, para una presión máxima de servicio de 1 654 kPa (240 psig).

NOTA 1 Los requisitos de diseño y fabricación solamente son los señalados en esta norma.

NOTA 2 En esta norma los valores normativos son los establecidos en el Sistema Internacional de Unidades y los valores en otro sistema se dan a título informativo.

4.7.3.1.1. Campo de aplicación

Esta norma es aplicable para evaluar cilindros de acero con costura destinados al almacenamiento, transporte y distribución de GLP antes de someterlo a cualquier tipo de mantenimiento.

Los cilindros de acero con costura sometidos a cualquier tipo de mantenimiento deben ser evaluados de acuerdo con los criterios establecidos en la NTC 522-2.

4.7.4. Norma técnica colombiana NTC 3853

Equipo, Accesorios, Manejo Y Transporte De G.L.P.

Según el Decreto 2269 de 1993. **Icontec**: es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya Misión es fundamental para brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor.

4.7.4.1. Instalaciones Fijas

Los proyectos con instalaciones de carácter estacionario que utilicen contenedores de almacenamiento superiores a los 2 000 gal (7,6 m³) de capacidad individual de agua, o con una capacidad agregada de agua que exceda los 4 000 gal (15,1 m³) se deben someter a la aprobación por parte de la autoridad competente antes de que se inicie su proceso de instalación.

4.7.4.2. Instalaciones temporales

Los proyectos que incluyan la existencia de instalaciones temporales (instalaciones con un período de vida inferior a seis meses) de los tamaños descritos en el numeral 1.5.1 deben someterse a la aprobación de la autoridad competente antes de que comience su proceso de instalación.

4.7.4.3. Gas comprimido

Cualquier material o mezcla que dentro de un contenedor tenga una presión absoluta que sobrepase los 40 psia (276 kPa absolutos) a 70 °F (21,1 °C), o que, sea cual fuere su presión a 70 °F (21,1 °C), alcance una presión absoluta superior a 104 psia (717 kPa absolutos) a 130 °F (54,4 °C).

5. Diseño de aspectos metodológicos

5.1. Línea de investigación capacidades de ciencia, tecnología, innovación y desarrollo endógeno.

Como estudiantes de ingeniería mecánica, a través de esta línea de investigación, se pretende dar posibles soluciones a la problemática que existe en el corregimiento la

Guayaquina en el Municipio de Tumaco en el Departamento de Nariño, para lo que se efectúa un prototipo de máquina para el aprovechamiento energético a partir del residuo de naranja generando biogás, reduciendo así la contaminación ambiental y contribuyendo además con la salud y bienestar de la población a la cual va dirigido el proyecto.

5.1.1. Enfoque mixto (Cualitativo - Cuantitativo)

El método de investigación que se lleva a cabo será un enfoque mixto ya que permite que en el desarrollo del proyecto se obtenga una información más vigorosa, permitiendo a los investigadores observar, analizar variables de tiempo, producción y la parte ergonómica que es fundamental en el desarrollo del proyecto, en cuanto al enfoque cuantitativo se analiza el comportamiento y las conductas humanas de una población determinada y se obtendrán variables del problema de investigación a partir de encuestas, entrevistas, estadísticas etc.

Es importante la implementación de un enfoque mixto en la investigación ya que se usan las anteriores herramientas que permite tener contacto directo con la población a la cual va dirigido el proyecto obteniendo datos que ayudan para implementar estrategias para diseñar y construir el prototipo de máquina productora de biogás a partir de los residuos de naranja.

5.1.2. Tipo de investigación

El propósito de describir la posición en la que se encuentran la población a la cual va dirigido el proyecto, la investigación es descriptiva, esta tiene como base la recolección de información a partir de herramientas técnicas entre las cuales se encuentran: encuestas, entrevistas, estadísticas.

Teniendo en cuenta que la investigación descriptiva facilita acceder al objeto de estudio, analizando sus condiciones y las problemáticas de cierta población.

5.1.3. Método

Método Experimental– Se definen los parámetros generales de las diferentes técnicas para extraer biogás de la cáscara de naranja partiendo de datos ya establecidos como es la descomposición anaeróbica, las propiedades de la materia prima para así llegar a una unidad en cuanto al tiempo y producción de biogás.

Una vez encontrado el proceso eficaz para la obtención de biogás se procede a diseñar el prototipo de máquina, que permite la extracción de biogás de forma rápida y segura.

5.1.4. Variables

Tabla 6: Variables independientes y dependientes

INDEPENDIENTES	DEPENDIENTES
Flujo de biogás	Temperatura
Peso	Presión
Producción	Humedad
Tiempo de proceso	PH de la materia prima
Volumen de la materia prima	Densidad del gas

Nota: La tabla 6 muestra las variables dependientes e independientes que se toman en cuenta para el desarrollo del presente trabajo y la obtención de los resultados del mismo.

Fuente: Elaboración propia

5.2. Delimitación geográfica

5.2.1. La Guayacana

Es un corregimiento del Municipio de Tumaco del cual se obtiene información limitada por su ubicación geográfica y su marginalidad con respecto a su población.

Se toma como referencia debido a su gran producción de desechos orgánicos que comprenden cáscara de naranja y todos los residuos de la misma que se derivan de la extracción artesanal de su jugo.

5.2.2. Instrumentos de recolección de información

En el proyecto se implementa la observación directa, así como también la metodología fundamentada en tesis, sitios web, artículos web.

La metodología impartida se divide en tres partes que son: exponer, investigar y analizar. La exposición comienza con un breve resumen sobre la temática que implica el planteamiento del problema el cual muestra un panorama absoluto de la problemática

ambiental, la ergonomía y salud de las personas, donde surge la idea de la producción de biogás a partir de los residuos de la naranja como fuente alternativa de energía.

La investigación tiene como base el planteamiento de la parte inicial del trabajo, donde se analizan algunas de las causas y puntos a investigar. En el análisis se recopila toda la información obtenida en cuanto a biodigestores como principal fuente de información, destilación y procesos anaeróbicos.

6. Elementos de administración y control

6.1. Recursos físicos y técnicos

6.1.1. Recursos físicos

- Universidad
- Taller metal mecánico
- Finca
- Distribuidores

6.1.2. Recursos técnicos

- Martillos
- Alicates
- Destornilladores
- Pie de rey
- Metro
- Llave inglesa
- Hombre solo
- Llave de copas, hexagonales, mixta
- Llave de expansión o inglesa
- Multímetro
- Manómetro
- Torno
- Soldadura punto y soldadura autógena
- Compresor

6.2. Talento humano

Una de las partes más significativas dentro del proyecto para la investigación es el recurso humano, puesto que es la clave para llevar a cabo los objetivos plasmados, por lo tanto, tener disposición del talento humano es de gran importancia para obtener un prototipo con los requerimientos necesarios.

Director principal: Esteban Mora

Codirector: Erick Piñeros

Grupo Investigativo: Karol Pérez y Francisco López.

6.3. Presupuesto

A continuación se muestra la relación con respecto a, componentes, unidades, valor unitario y total.

Tabla 7: Presupuesto

Componentes	Unidades	Valor unidad	Total
Fotocopias	150	\$100	15.000
Impresiones	300	\$200	60.000
Pago a asesores externos	7	\$100.000	700.000
Transporte	3	\$120.000	360.000
Total			1.135.000

Tabla 8: presupuesto

Componentes	Unidades	Valor unidad	Total
Pantalla led	1	\$15.000	\$15.000
Sensor MQ2	1	\$15.000	\$15.000
Sensor MQ4	1	\$15.000	\$15.000
Bidón	2	\$ 40.000	\$80.000
Sensor DTH11	1	\$20.000	\$20.000
Manómetros sk20-A	2	\$30.000	\$60.000
Ángulos (6m)	2	\$40.000	\$80.000
Resortes	4	\$32.000	\$32.000
Manguera	2 m	\$10.000	\$20.000

Arduino nano	2	\$30.000	\$60.000
Celda Peltier	1	\$15.000	\$15.000
Regulador AMS1117	2	\$10.000	\$20.000
Diodo 1N4007	2	\$200	\$400
Condensador 10uF	4	\$2.000	\$8.000
Transistor	8	\$8.000	\$64.000
Termocupla	1	\$20.000	\$20.000
Encoder rotatorio	1	\$8.000	\$8.000
Total			\$532.400

Nota: La tabla 7 y 8 muestran la relación de presupuesto, con respecto a los gastos que se generaron para el desarrollo de la presente investigación.

Fuente: Elaboración propia

6.4. Cronograma de actividades

Tabla 9: Cronograma de actividades en semanas

Actividades	Tiempo semanas 2021 tentativo																												
	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
Búsqueda de antecedentes generador de biogás con cáscaras de naranja	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	
Análisis de tecnologías existentes	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2		
Diseño																													

Cálculos																																					
Simulación																																					
Construcción																																					

7. Criterios de Evaluación

7.1. Análisis de la selección de la propuesta

A partir de los criterios y los diferentes rasgos de requerimientos recolectados, que permite concretar aspectos para tomar mejores decisiones en cuanto a la construcción del prototipo máquina productora de biogás.

7.2. Boceto de prototipo

Los residuos de la naranja será ingresada de forma manual mediante un conducto hasta la cámara de vacío donde se almacenará por un tiempo determinado posteriormente se realiza un movimiento agitación mecánica con lo que se pretende aumentar energía en el sistema, donde se da inicio al proceso anaeróbico, por último, se realiza la extracción del biogás por medio de compresor y se redirecciona a un punto de almacenamiento mediante mangueras.

Ilustración 4: Boceto del prototipo en SketchUp



Ilustración 5: Boceto del prototipo en Solidworks



Nota: Las ilustraciones 1 y 2 muestran los bocetos del prototipo realizados en SketchUp y Solidworks, simultáneamente.

Fuente: Elaboración propia

Bidón: Tanque de almacenamiento donde se deposita la materia prima para que se dé inicio al proceso anaeróbico y con la ayuda de un motor se aplicará fuerza mecánica generando movimiento y como resultado agitación mecánica.

8. Diseño de detalle para la producción teórica de Biogás

8.1. Cálculos para la producción teórica de Biogás

Tabla 10: Cálculo tanque de almacenamiento 1

Tanque de Almacenamiento 1	
CTT = 208L P = 4Bar T = 40° m =10 kg (sujeto a cambios) TR = 15 días	CTT = Capacidad de tanque en litros P = presión Atmosférica T = temperatura M = masa (Residuos de naranja) TR = tiempo Retención (días, horas)

Fuente: Elaboración propia

8.2. Digestión Anaeróbica: Producción teórica de Biogás

La carga de mezcla que se debe adicionar diariamente se calcula como se indica a continuación:

Tanque de Almacenamiento 1

CTT = 208L

P = 4Bar

T = 40°

m =10 kg (sujeto a cambios)

TR = 15 días

Donde:

CTT = Capacidad de tanque en litros

P = presión Atmosférica

T= temperatura

m = masa (Residuos de naranja)

TR = tiempo Retención (días, horas)

- Digestión Anaeróbica: Producción teórica de Biogás

La carga de mezcla que se debe adicionar diariamente se calcula como se indica a continuación:

$$VT = CTT \times 0,75 \quad \text{Ecuación 1}$$

Se reemplaza en la ecuación 1 para verificar el volumen de trabajo, el 0,75 corresponde a la totalidad de volumen a utilizar en el bidón.

$$VT = 208L \times 0,75 = 156L$$

$$CD = VT/TR \quad \text{Ecuación 2}$$

Una vez encontrado el volumen de trabajo se reemplaza en la ecuación 2 y se encuentra la carga diaria de mezcla que se debe añadir.

$$CD = 156L/15 \text{ días} = 10,4L/día$$

Donde:

VT: volumen de trabajo en Litros.

CTT: capacidad total del tanque en Litros.

CD: carga diaria de mezcla que se debe añadir.

TR: tiempo de retención en días (ver tabla)

8.3. Producción de biogás/día

El Grupo De Investigación En Procesos Químicos Y Bioquímicos De La Facultad De Ingeniería De La Universidad Nacional De Colombia Y Centro De Desarrollo Industrial Tecsol realizaron una aproximación tórica analizando el contenido del material con base a los carbonos, nitrógenos y oxígenos y con ello hacen el balanceo químico estequiométrico para sacar un valor teórico estimado del potencial de los residuos sólidos, en este caso se adaptó el

estudio de estos autores para realizar nuestro propio desarrollo científico con lo cual obtuvimos los siguientes resultados a través de las fórmulas mencionadas;

- Potencial de biogás:

$$Q \text{ Biogás} = P \text{ biogás} \cdot SV \quad \text{Ecuación 3}$$

$$Q \text{ Biogás} = 1.6 \text{ m}^3 / \text{kg SV} \times 7 \text{ kg/día} = 9.7 \text{ m}^3 / \text{día}$$

- Potencial teórico

$$Q \text{ Biogás} = P \text{ biogás} \cdot SV$$

$$Q \text{ Biogás} = 1.641 \text{ m}^3 / \text{kg SV} \times 7 \text{ kg/día} = 11.2 \text{ m}^3 / \text{día}$$

Donde:

$Q_{\text{biogás}}$ corresponde a la producción de biogás diaria ($\text{m}^3 / \text{día}$)

$P_{\text{biogás}}$ corresponde al potencial de biogás ($\text{m}^3 / \text{kg SV}$)

SV corresponde a la cantidad de sólidos volátiles por día (kg/día)

“El SV estándar es de 70% de los residuos de la naranja”

Estimación de potenciales de generación de biogás:

- Calcular P biogás

La medida más común utilizada se describe la materia orgánica degradable en desechos es la demanda química de oxígeno (DQO) expresada como $\text{g-O}_2 / \text{litro}$ o contenido de sólidos volátiles (SV) expresado como g-SV/litro .

Si se conoce la composición atómica de la materia orgánica, la relación entre el contenido de DQO y SV se puede calcular de la ecuación estequiométrica para la oxidación completa de la materia orgánica. Para muchos tipos de residuos orgánicos, el estado de oxidación del carbono es cercano a cero (como glucosa) y en estos casos, la relación DQO/SV estará cerca de la unidad.

- Metano

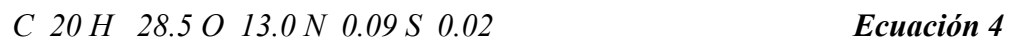
Peso molecular: 16g/mol

DQO: 64g/mol

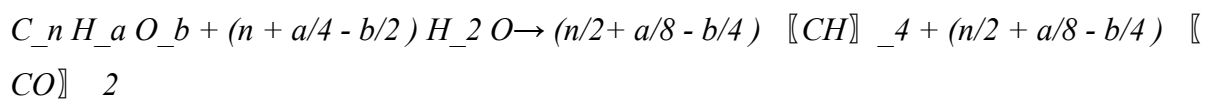
Razón DQO/SV teórico: 4

8.4. Relación atómica de residuos de la naranja

Según el Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, se plantea de forma empírica para residuos de cáscara de naranja que:

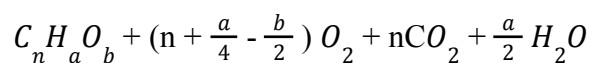


Según el Grupo de investigación en procesos químicos y bioquímicos de la facultad de ingeniería de la universidad nacional de Colombia y centro de desarrollo industrial TECSOL la reacción de oxidación de material orgánico está representado en la siguiente ecuación;



Ecuación 5

- Reacción de oxidación de material orgánico



Razón QOD:SV está dada por $\frac{COD}{VS} = \frac{n + \frac{a}{4} - \frac{b}{2}}{12n + a + 16b}$

Sustituimos $\frac{COD}{VS} = \frac{20 + \frac{28.5}{4} - \frac{13.0}{2}}{12(20) + 28.5 + 16(13.0)} = 1.38$

- Potencial teórico

Al no conocerse la composición exacta de la materia prima y solo se conoce el aproximado de algunos principales grupos orgánicos

Potencial teórico del Metano basado en aproximado de grupos orgánicos:

$B_o; th = \text{carbohidratos} + \text{proteínas} + \text{lípidos} + \text{acetato} + \text{propionato} + \text{etanol}$

Ecuación 6

Se reemplaza en la ecuación 6 para encontrar el potencial teórico del metano.

$$B_o; th = 0.415 + 0.496 + 0.730 = 1.641$$

- Producción de biogás diaria teórica

$m = 10 \text{ kg}$

$Q \text{ Biogás} = 1.3 \text{ m}^3 / \text{día}$

Candidato: $0,01071 \text{ m}^3 / \text{día}$

$$Vb = 1.38 \text{ m}^3 / \text{día} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 0.0541 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Ecuación 7

Donde

$Vb =$ Volumen de biogás producido cada hora

Tanque de almacenamiento 2

presión en el tanque de almacenamiento de biogás

$$P \times V = n \times R \times T$$

Ecuación 8

Se despeja la presión de la ecuación 8 y posteriormente se reemplaza.

$$P = \frac{n \times R \times T}{V} = \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ mol} \times 0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 313 \text{ K}}{150 \text{ L}} = 1.030 \times 10^{23} \text{ atm}$$

Donde:

$R =$ Constante de gases ideales

$V =$ volumen, $n =$ número molar

$T =$ temperatura

$P =$ Presión

Nota: A continuación, se toma como referencia la presión atmosférica estándar (1 atm) para calcular los siguientes valores (sujeto a cambios)

Densidad del carbono

$$- P = 1 \text{ atm}$$

$$- T = 40^\circ\text{C} \approx 313^\circ\text{K}$$

$$- P_M = 44.01 \text{ g/mol}$$

$$\rho = \frac{1 \text{ atm} \times 44.01 \text{ g/mol}}{0.082 \frac{\text{atm} \times \text{L}}{\text{K} \times \text{mol}} \times 313 \text{ K}} = 1.71 \text{ g/L}$$

Ecuación 9

Nota: este dato es obvio a propósito con la intención de que los cálculos sean más concretos, pues el propósito de la etapa de filtrado es obtener un biogás mucho más puro con un porcentaje del 87% a 90% de metano. Se trabajará a detalle en los ajustes del prototipo físico.

- Densidad del Metano

$$-P= 1 \text{ atm}$$

$$-T=40^\circ\text{C} \approx 313^\circ\text{K}$$

$$-P_M=16 \text{ g/mol}$$

$$P \times V = n \times R \times T \approx P \times V = \frac{m}{P_M} \times R \times T \approx P \times P_M = \frac{m}{V} \times R \times T \approx P \times P_M = \rho \times R \times T \approx \rho = \frac{P \times P_M}{R \times T}$$

$$\rho = \frac{1 \text{ atm} \times 16 \text{ g/mol}}{0.082 \frac{\text{atm} \times \text{L}}{\text{K} \times \text{mol}} \times 313 \text{ K}} = 0.62 \text{ g/L}$$

Donde:

$P =$ Presión

$T =$ temperatura

$R =$ constante de gases

$- P_M =$ presión molecular Metano

$- P_M =$ presión molecular Carbono

Cantidad de moles en 150 L de Biogás (Metano) en condiciones normales (CN)

Planteamiento

$$(1 \text{ mol } [CH]_4) / 22.4L = x / 150L$$

Ecuación 10

Se despeja x de la ecuación 10 y se reemplaza obteniendo el valor de la cantidad de moles

$$x = 150L \times \frac{1 \text{ mol } CH_4}{22.4L} = 6.69 \text{ mol}$$

- Cantidad de moles en 150 L de biogás en 4 atm y 313°K

se plantea:

$$P_f \times V_f = n_f \times R \times T_f$$

Ecuación 11

$$4 \text{ atm} \times 150L = n_f \times 0.082 \text{ atm} \times L / \text{mol} \times K \times 313^\circ K$$

Se despeja nf de la ecuación 11 y se reemplaza.

$$\text{Se resuelve: } n_f = (4 \text{ atm} \times 150 L) / (0.082 (\text{atm} \times L) / (\text{mol} \times K) \times 313^\circ K) = 23.37 \text{ mol}$$

- Volumen de biogás almacenado cada 15 días
15 días = 336 h

$$Va = Vb \times t$$

Ecuación 12

Se reemplaza los valores ya obtenidos en la ecuación 12.

$$Va = 0.0541 \text{ m}^3 / \text{h} \times 336 \text{ h} = 18.17 \text{ m}^3 \therefore 18.17 \text{ m}^3$$

Valor sujeto a cambios*

Donde:

Va = volumen de biogás almacenado

Vb = Volumen de biogás producido da (h)

t = tiempo de almacenamiento(h)

Tanque 2

$$Vt = 208L$$

$$V_a = 150L$$

$$V_d = ?$$

$$V_d = V_t - V_a = 208L - 150L = 58L$$

Ecuación 13

Porcentaje de Biogás en tanque de almacenamiento en un lapso de 1 día

$$(100\%) / 208 L \times 150 L / ? = 0.721153 \times 100 = 72.1\%$$

Ecuación 14

Donde:

V_d= Volumen disponible

Tabla 11: Análisis de ventajas y desventajas de los métodos de purificación

Método de purificación	Ventaja	Desventaja
Adsorción	<ul style="list-style-type: none"> -Requiere menos energía -Eliminación de Sulfuro de hidrógeno -opera a temperaturas cercanas a la ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> - La reacción puede verse afectada por la humedad, selectividad, temperatura, presión y presencia de partículas.
Absorción compuestos de hierro, orgánicos y agua	<ul style="list-style-type: none"> -Costos relativamente bajos de algunos compuestos -Reactivación del sulfuro con la mayoría de metales - Alto poder de purificación -Variedad de productos para purificación 	<ul style="list-style-type: none"> -Mezcla de químicos peligrosos - Control de temperatura constante -Consumo excesivo de agua -Costo de operación

Membrana	-Eficiente	-Sistema caro
	-Medianas y altas presiones	-No adecuados para pequeños proyectos
		-Poros demasiado pequeños

Fuente: Elaboración propia

El sistema de filtrado y purificación de biogás será mediante método de adsorción como elementos principales el carbón activado para gases orgánicos con un rango por partícula (malla) de 4 mm pellet y Zeolita con cavidad microporosa.

El carbón granular tipo car vapur es altamente microporos con la capacidad de absorber partículas cuyo peso molar está entre 55 y 250 g/mol, teniendo en cuenta que el peso molar (P_M) del metano es de 16g/mol este no será absorbido por el carbón. Así también en conjunto la Zeolita filtra las partículas de metano y absorberá demás partículas cuyo peso molar es superior al del Metano.

- Tubería

$$\phi_{ex} = 21.30 \text{ mm}$$

Espesor: 2.29 mm

$$\phi_{in} = \phi_{ex} - \text{espesor} \tag{Ecuación 15}$$

$$\phi_{in} = 21.30 - 2.29 \text{ mm} = 19.01 \text{ mm} \approx 0.75 \text{ in}$$

$$L_T = 150 \text{ m}$$

$$L_N = 3 \text{ m}$$

Caudal:

$$Q_h = 28^{20} / [0.65]^{0.425} \left(([1 \text{ atm}]^2 - [4 \text{ atm}]^2) / 3 \text{ m} \right) \tag{Ecuación 16}$$

- Velocidad del gas

$$V = \frac{378 \times Q}{P \times D^2} \tag{Ecuación 17}$$

Nota: la velocidad está sujeta a cambios, actual dato tomado en referencia a la velocidad de flujo del gas al contacto con el carbón activado en su proceso de purificación (filtro). $v=10 \text{ m/min}^*$

$$Q = \pi \times r^2 \times v \quad \text{Ecuación 18}$$

Se reemplaza en la ecuación 18

$$3.1415 \times 0.375^2 \times 10 \text{ m/min}$$

$$Q = 4.41 \text{ m/min}$$

- Ley de Gases ideales

$$P \times V = n \times R \times T$$

$P =$ Presión absoluta

$V =$ Volumen

$n =$ Moles de gas

$R =$ constante universal de los gases ideales = $0,0821 \text{ (atm}\cdot\text{l mol}\cdot\text{K)}$

$T =$ temperatura absoluta

- Propiedades de fluido

Composición de mezcla: Peso molecular, relación calor específico y compresibilidad en condiciones de succión y descarga (buscar datos)

Humedad del aire atmosférico: 100%

Temperatura y presión crítica:

$$Tr = \frac{T}{Tc} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$Pr = \frac{P}{Pc} \quad \text{Ecuación 20}$$

La temperatura y presión críticas del metano son $-82.7 \text{ }^\circ\text{C}$ y 45.96 bar .

Compresibilidad:

$$Z = \frac{PV}{RT} = \frac{MPV}{RT} \quad \text{Ecuación 21}$$

Volumen específico (V) de un gas real:

$$V = \frac{ZRT}{MP} \quad \text{Ecuación 22}$$

$V =$ Volumen específico, en m^3/kg

$R =$ Constante universal de los gases, $8314.34 J/Kmol^\circ K$

$T =$ temperatura $^\circ K$

$P =$ Presión absoluta KPa o lb/pt^2

$M =$ pesos molecular $Kg/Kmol$ o $lb/lbmol$

Flujo Volumétrico (Q)

$$Q = F_1 \cdot W \cdot V \quad \text{Ecuación 23}$$

$Q =$ Flujo volumétrico m^3/s

$W =$ flujo másico Kg/s

$V =$ volumen específico m^3/kg

$F1 =$ Factor 1 en (SI) o 1/60

$F0 =$ factor 9.806 en (SI) o 1

- Compresor

Compresor Reciprocante

Velocidad de flujo: Condiciones estándar (14.7 psia y 60°F) sujeto a condiciones de succión. Unidades libra/h, mol/h, m^3/h o pt^3/min

Para los propósitos actuales en fase experimental se eligió compresor comercial para nevera, marca Donper 1/6 Gas R134a 115v y 1Hp.

- Pipeta

Presión en recipiente final

$$P \times V = n \times R \times T$$

$$P = \frac{n \times R \times T}{V} = \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ mol} \times 0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 313 \text{ K}}{30 \text{ L}} = 5.15 \times 10^{23} \text{ atm}$$

Donde:

$R =$ Constante de gases ideales

$V =$ volumen, $n =$ número molar

$T = \text{temperatura}$

$P = \text{presión}$

Cantidad de moles en 30 L de biogás en 4 atm y 313°K

Se plantea: $P_f \times V_f = n_f \times R \times T_f$

$$R = 0.082 \frac{\text{atm} \times \text{L}}{\text{mol} \times \text{K}}$$

$$4 \text{ atm} \times 150 \text{ L} = n_f \times 0.082 \text{ atm} \times \text{L} / \text{mol} \times \text{K} \times 313^\circ \text{K}$$

$$\text{Se resuelve: } n_f = \frac{4 \text{ atm} \times 30 \text{ L}}{0.082 \frac{\text{atm} \times \text{L}}{\text{mol} \times \text{K}} \times 313^\circ \text{K}} = 4.67 \text{ mol}$$

Cantidad de moles en 60 L de biogás en 4 atm y 313°K

Se plantea: $P_f \times V_f = n_f \times R \times T_f$

$$4 \text{ atm} \times 150 \text{ L} = n_f \times 0.082 \text{ atm} \times \text{L} / \text{mol} \times \text{K} \times 313^\circ \text{K}$$

Se resuelve:

$$n_f = \frac{4 \text{ atm} \times 150 \text{ L}}{0.082 \frac{\text{atm} \times \text{L}}{\text{mol} \times \text{K}} \times 313^\circ \text{K}} = 9.35 \text{ mol}$$

- Volumen de biogás a 4 atm

$$V = 150 \text{ L}$$

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$T = 40^\circ \text{C} \approx 313^\circ \text{K}$$

$$- V_2 = ?$$

$$- P_2 = 4 \text{ atm}$$

$$- T_2 = 313 \text{ K}$$

$$\frac{P \times V}{T} = \frac{P_2 \times V_2}{T_2} = \frac{1 \text{ atm} \times 150 \text{ L}}{313 \text{ K}} = \frac{4 \text{ atm} \times V_2}{313 \text{ K}}$$

Ecuación 24

$$V_2 \times 4 \text{ atm} = \frac{1 \text{ atm} \times 150 \text{ L} \times 313 \text{ K}}{313 \text{ K}} = \frac{1 \text{ atm} \times 150 \text{ L} \times 313 \text{ K}}{4 \text{ atm} \times 313 \text{ K}} = 37.5 \text{ L}$$

Nota: "Para cumplir la medida estándar de volumen de la pipa de almacenamiento y transporte se recomienda aumentar la presión hasta 5 atm."

- DENSIDAD DEL METANO

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$T = 40^\circ\text{C} * 313^\circ\text{K}$$

$$P_m = 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$P * V = n * R * T$$

$$n = \frac{m}{p_m} \rightarrow \rho = \frac{m}{v} \rightarrow \rho = \frac{p * p_m}{R * T}$$

$$\rho = \frac{1 \text{ atm} * 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{0.082 \frac{\text{atm} * \text{L}}{\text{K} * \text{mol}} * 313^\circ\text{K}} = 0,62 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

✓ Cantidad de moles en 150 L de biogás (metano) en condiciones normales.

=

Ecuación 25

Se despeja X de la ecuación 25 y se reemplaza.

$$X = 150 \text{ L} * = 6,69 \text{ mol}$$

✓ Cantidad de moles en 150 l de biogás en 4atm y 313°K

$$P_f * V_f = n_f * R * T_f$$

$$1 \text{ atm} * 150 \text{ L} = n_f * 0,082 * 313^\circ\text{K}$$

$$nf = = 23,37 \text{ mol}$$

✓ Volumen de gas almacenado cada 15 días.

$$15 \text{ días} = 336 \text{ h}$$

$$Va = Vb * t$$

Ecuación 26

Se reemplaza en la ecuación 26.

$$Va = 0,0541 * 336 \text{ h} = 18,17 \text{ m}^3$$

✓ Tanque 2

$$Vt = 208L$$

$$Va = 150L$$

$$Vd = ?$$

$$Vd = Vf - Va = 208L - 150L = 58L$$

✓ Porcentaje de biogás en tanque de almacenamiento en un día.

$$100\% / 208L * 150L / ? = 0,721153 * 100 = 72,1\%$$

✓ CAUDAL: $Q = V * S$

Ecuación

27

$$S = \pi * r^2$$

Ecuación 28

$$V = 0,8 \text{ mt/s} \quad s = \pi * 0,0082235^2 = 0,00021245 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,8 \text{ mt} / \text{s} * 0,00021245 \text{ m}^2 = 0,0001699$$

✓ Flujo másico $\dot{m} = \rho * v$ **Ecuación 29**

- Masa metano= 16,04 g/mol
- Diámetro= 21,30 mm 0,0213 m
- Pmetan= 0,62 g/L 0,62kg/m³

✓ Flujo volumétrico: $V = V * A$ **Ecuación 30**

$$\begin{aligned} V &= 10 \text{ mt} / \text{min} * (\pi * r^2) \\ &= 10 \text{ mt} / \text{min} * (\pi * (0,01065 \text{ mts}))^2 \\ &= 3,563 * 10^{-3} \text{ mt}^3 / \text{min} = 0,21378 \text{ mt}^3 / \text{min} \end{aligned}$$

$$\dot{m} = 0,1325 \text{ kg} / \text{s} \text{ flujo másico}$$

✓ Presión interna

$$\text{Metano } T = 40^\circ\text{C} \quad 313^\circ\text{K} \quad 103,73^\circ\text{F}$$

$$\text{Tanque} = 45,5 \text{ kg}$$

Acero al carbono, soldado sin costuras

✓ Valor esfuerzo del material

SA – 515 Grado 70 = 17,5 = 17500 PSI

✓ Tipo de junta soldada = no examinada = 0,70

✓ Diámetro exterior = 224,4mm = 8,834 in

✓ Radio exterior = 112,2mm = 4,417in

✓ Espesor cilindro = 3,8mm

$$P = S * E * t / R - 0,4t \quad \text{Ecuación 31}$$

$$= \frac{17500 \text{psi} * 0,70 * 0,149 \text{in}}{4,417 \text{in} - 0,4 * 0,149 \text{in}}$$

$$= 6933,438 \text{ PSI} \quad \text{Presión interna}$$

✓ Velocidad

Diámetro manguera = 16,447mm = 0,016447m

Largo de manguera 80cm aproximadamente 0,8 m

$$V = d/t \quad \text{Ecuación 32}$$

$$V = 0,8 \text{ m} / \text{s}$$

$$V = 3RT/M = 3 * 0,082 \text{ atm} * L/K * \text{mol} / 16 \text{ g/mol}$$

Ecuación 33

$$= 2,1937 \text{ cm} \quad \text{Velocidad cuadrática media}$$

8.5. Determinación de volumen del metano a condiciones estándar (Método Manométrico para determinar el PBM)

$$n_{CH_4} = \frac{\Delta P \times V_1}{R \times T_e}$$

$$n_{CH_4} = \frac{1 \text{ atm} \times 40 \text{ L}}{0.08205746 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 313.15 \text{ K}} = 1.6 \text{ mol}$$

Donde:

ΔP : incremento de presión (1 atm)

V_1 : Volumen libre

R : constante de gases ideales

T_e : Temperatura del experimento ($^{\circ}\text{K}$)

Nota: Se toma el volumen libre dentro del contenedor cuyo volumen total son 60 L, con una carga de residuos de 30Kg, a 14 días de iniciado el proceso anaeróbico siendo este 40L.

$$V_{CH_4}^{CE} = \frac{n_{CH_4} \times R \times T_{CE}}{P_{CE}}$$

$$V_{CH_4}^{CE} = \frac{1.6 \text{ mol} \times 0.08205746 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 291.15 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 38,22 \text{ L}$$

Donde:

$V_{CH_4}^{CE}$: Volumen de metano en condiciones estándar (L)

n_{CH_4} : moles de CH₄ (mol)

R : constante de gases ideales

T_{CE} : Temperatura condiciones estándar ($^{\circ}\text{K}$)

P_{CE} : Presión a condición estándar

Determinación de volumen de metano disuelto

$$H_{CH_4} = 10 \left(\frac{-673,74}{T_e} + 6,88 \right)$$

$$H_{CH_4} = 10 \left(\frac{-673,74}{313,15^\circ K} + 6,88 \right) = 47,71 \text{ atm}$$

Donde:

H_{CH_4} : Constante de Henry para el CH₄ (atm)

T_e : temperatura de experimento (°K)

$$X_{CH_4 \text{ disuelto}} = \frac{\Delta P}{H_{CH_4}}$$

$$X_{CH_4 \text{ disuelto}} = \frac{1 \text{ atm}}{47,71 \text{ atm}} = 0,02397 \text{ mol}$$

Donde:

$X_{CH_4 \text{ disuelto}}$: Fracción molar del CH₄ disuelto

ΔP : Incremento de la presión (atm)

H_{CH_4} : Constante de Henry para el CH₄ (atm)

$$M_{CH_4 \text{ disuelto}} = \frac{M_{H_2O} \times X_{CH_4 \text{ disuelto}}}{1 - X_{CH_4 \text{ disuelto}}}$$

$$M_{CH_4} = \frac{55,5 \text{ mol L}^{-1} \times 0,02397 \text{ mol}}{1 - 0,02397 \text{ mol}} = 1,36 \text{ mol L}^{-1}$$

Donde:

$M_{CH_4 \text{ disuelto}}$: Concentración molar metano (mol L^{-1})

M_{H_2O} : concentración molar de agua (mol L^{-1})

$X_{CH_4\text{disuelto}}$: Fracción molar disuelta

$$n_{CH_4\text{disuelto}} = M_{CH_4\text{ disuelto}} \times V_u$$

$$n_{CH_4\text{disuelto}} = 1,36 \text{ mol L}^{-1} \times 40\text{L} = 54,4 \text{ mol}$$

Donde:

$n_{CH_4\text{disuelto}}$: Moles de metano disuelto (mol)

$M_{CH_4\text{ disuelto}}$: Concentración molar CH_4 (mol L^{-1})

V_u : Volumen útil del reactor (L)

$$V_{CH_4\text{disuelto}}^{CE} = \frac{n_{CH_4\text{disuelto}} \times R \times T_e}{\Delta P}$$

$$V_{CH_4\text{disuelto}}^{CE} = \frac{54,4 \text{ mol} \times 0,08205746 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 313,15 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 1,397 \text{ L}$$

Donde:

$V_{CH_4\text{disuelto}}^{CE}$: Volumen metano disuelto (L)

Determinación Volumen total de metano en condiciones estándar

$$V_{TCH_4}^{CE} = V_{CH_4}^{CE} + V_{CH_4\text{disuelto}}^{CE} - V_{CH_4\text{ control}}$$

$$V_{TCH_4}^{CE} = 38,22 + 1,397 - 1,0 = 38,6 \text{ L}$$

Donde:

$V_{TCH_4}^{CE}$: Volumen total de metano en condiciones estándar (L)

$V_{CH_4\text{ control}}$: Volumen de metano producido por el inóculo sin sustrato (L)

Determinar Potencial Bioquímico (PBM)

$$PBM = \frac{V_{TCH_4} CE}{gSV}$$

$$PBM = \frac{38,6 L}{1,3 gSV} = 27,9 LgSV^{-1}$$

Donde:

PBM: Potencial bioquímico de metano ($LgSV^{-1}$)

gSV : Sólido volátil inicial (gSV)

Nota: se toma como sólido volátil el valor de 1,38 gSV, dato obtenido de la ecuación estequiométrica para residuos de naranja mencionado anteriormente.

8.6. Especificaciones técnicas y manual del usuario

Tabla 12: Especificaciones técnicas

Especificaciones técnicas	<ul style="list-style-type: none"> ● Bidón material plástico. ● Cuenta con un sistema de agitación por resortes. ● Control de temperatura. ● Válvulas. ● Llaves. ● Mangueras. ● Sensores ● Manómetros
Instrucciones de uso	<ul style="list-style-type: none"> ● Ajustar abrazadera al tanque uno con su respectivo tornillo ● Sujetar los estabilizadores a la abrazadera(paso anterior) ● Cargar el tanque uno con los residuos

-
- Verificar no exista contacto entre residuos y componentes eléctricos (mantenga a 5 cm de separación)
 - Aplicar sellante (silicona en el aro de la tapa)
 - Ajustar la tapa
 - Poner abrazadera y ajustar la tapa
 - Adicionar una segunda abrazadera la cuál se ajusta con tornillo
 - Montar los estabilizadores a la estructura(resortes)
 - Fijar los módulos de temperatura y gas a la estructura
 - Conectar los respectivos cables a los módulos
 - Conecta la respectiva mangueras la cual conecta al tanque 2
 - Ajustar la rosca de las llaves y racores
 - Conectar el módulo de temperatura a la fuente de alimentación
 - Enciende el módulo de temperatura y configure el setpoint (datos en pantalla)
 - Use la perilla para configurar los valores (40, 30, 60, 90)
 - Usar la perilla presionando sobre ella para acceder al menu y gire a la derecha para elegir los valores, confirme cada valor accionando sobre la perilla
 - Conectar el módulo de gas en cada revisión y desconectar tras su posterior uso
 - Realizar revisiones cada 24 horas hasta completar el ciclo de retención (15 dias o mas)
-

Características de uso	<ul style="list-style-type: none"> ● Diseñado para la parte doméstica. ● Estructura liviana y de fácil uso.
------------------------	---

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Manual del usuario para uso, operación y mantenimiento

Manual del usuario para uso, operación y mantenimiento



1. SEGURIDAD

¡Atención !Esta maquinaria tiene riesgos que deben ser tenidos en cuenta y el uso de EPI es necesario

Riesgo eléctrico

Este equipo usa una fuente de 110 voltios que alimenta su funcionamiento por lo cual deben usarse botas dieléctricas y estar alejado de fuentes de agua o detonantes de corto circuito, validar estado de conexiones, tomacorrientes y cableado durante su operación.



Riesgo de atrapamiento:

El presente equipo presenta partes móviles que pueden provocar atrapamiento o lesión de extremidades, el uso de guantes para su manipulación es necesario



Riesgo de contacto con superficies Calientes:

Este equipo tiene partes descubiertas que pueden alcanzar los 50° C de temperatura, el uso de guantes es indispensable para la manipulación. Se recomienda revisar periódicamente.



Riesgo químico:

El presente equipo trabaja con gas lo que puede provocar intoxicación si no se hace un buen manejo de mascarilla



Riesgo de gas inflamable:

Este equipo trabaja con gas inflamable que puede provocar una explosión por lo que se recomienda mantener distancia de llamas abiertas, chispas y cualquier otra fuente de ignición.



Riesgo de gas comprimido:

El equipo trabaja con gases comprimidos en medianas presiones lo cual puede provocar una explosión en caso de calentamiento.



2. MODO OPERATORIO

Ver tabla 12

3. MANTENIMIENTO

Verificar el adecuado cierre de válvulas.

Verificar controles de seguridad y conexiones.

Detectar filtraciones de aire.

Diagnosticar ruido, vibraciones u otras condiciones anormales de la máquina.

Verificar componentes eléctricos.

Limpieza de bidón.

Inspeccionar cableado y componentes eléctricos.

Limpieza de mangueras (utilizar herramienta adecuada).

Lubricar piezas.

Revisar válvulas de seguridad y sus conexiones.

Tener componentes de repuesto en caso de requerir cambio.

Revisar fugas y corrosión de componentes.

Nota: Este manual de operaciones describe de manera general, los riesgos asociados a la manipulación de este material inflamable, además de las condiciones de operación del equipo, la metodología de alimentación, la extracción de biogás y el mantenimiento adecuado.

Fuente: Elaboración propia

9. Desarrollo experimental y análisis de resultados

Se realiza un diseño experimental en el cual se simula la obtención del gas de biogás a partir del bagazo de cáscaras y residuos de naranja usando un método de extracción simplificada con el objetivo de cuantificar la cantidad de metano a partir de un volumen determinado de carga orgánica.

Se tiene en cuenta las observaciones y datos recolectados en los anteriores experimentos para la realización y mejoramiento de esta nueva versión experimental al cual se le adiciona características como control de temperatura, hermeticidad, manómetro de baja presión y lecturas con sensores de gas, temperatura y humedad modalidad digital en ambiente cerrado.

Para la construcción del prototipo experimental a escala se implementó materiales como:

1. Bidón plástico de capacidad 60L con abrazadera metálica
2. Bidón plástico de capacidad 20L con abrazadera metálica
3. Codos en cobre a 90° de 1/4"
4. Racores en cobre de 1/4"
5. Llaves de paso émbolo 1/4"
6. Válvula antirretorno SNTC: SV08 para presión de 0,005-1,2 Mpa
7. Manómetro de baja presión 0-15 Psi
8. Manguera AUTO – TG 3/16"
9. Silicon gris SI 5699
10. Abrazaderas plásticas
11. Sensores detección de gases MQ4
12. Sensor detección de gases MQ4.
13. Sensor de temperatura y humedad DTH11
14. Pantalla led 16*2
15. Resistencia a 120 v y 60 hz

16. Placa PCB
17. Módulo I2c
18. Jumpers Arduino macho-hembra y hembra-hembra.
19. Resortes de compresión.
20. Ángulos
21. Platina de metal
22. Aislante térmico
23. Tornillos hexagonales de acero 3/16"
24. pega tanque

9.1. Montaje experimental

Con las piezas reunidas se procede a realizar el ensamblaje, en primer lugar se toma medidas y se recorta los ángulos para crear la estructura en la cual estarán sujetos los contenedores (bidones), después, se procede a perforar y atornillar con tornillos hexagonales 3/16 de acero la estructura, con la platina de metal se la forja para formar una abrazadera y base que sujetará el bidón principal, se perfora y se atornilla nuevamente la abrazadera esto con el fin de regular la fuerza ejercida de la abrazadera sobre el bidón.

Se recorta segmentos de la misma lámina para crear las bases que sujetaran los resortes, se procede a medir y ubicar la posición correcta de los resortes con el fin de lograr un equilibrio en el bidón al momento de dejarlo suspendido en el aire, se perfora en la estructura para sujetar con tornillos, los resortes los cuales hay que soldar segmentos de 1*2 cm tanto en la parte inferior como superior, se sujeta los resortes a la abrazadera del bidón y a la estructura, estos resortes se instalaron con la finalidad de generar movimiento de agitación usando fuerza muscular leve debido a que la cantidad de masa es directamente proporcional a la resistencia de los resortes, en el caso de incrementar la cantidad de masa y el volumen del recipiente se considera un diseño en el que se implemente un mecanismo diferente de movimiento.

Se construye una segunda estructura donde reposa el segundo bidón. Se procede aplicar silicona al borde y la tapa del segundo bidón, se deja secar. Se perfora la tapa para introducir el cableado del sensor de gas, así como también una perforación para instalar el manómetro, se aplica silicona y se atornilla el manómetro, una tercera perforación para el codo y su respectiva llave los cuales se sellan y se atornillan. Se recorta una fracción de 6 cm

área de teflón, se prepara resina y se aplica a la superficie interna de la tapa del segundo bidón, luego, se pone la fracción de teflón y se deja secar 1h 45 min se instala el sensor sujetándolo con un tornillo, se pasa el cableado a través de la perforación, se aplica silicona en la parte inferior y resina en la parte superior de la tapa, al cabo de este tiempo se instala la tapa en el bidón se ajusta con su respectiva abrazadera. Con la ayuda de un compresor de 100 psi se realizan las pruebas de hermeticidad en el bidón aplicando aire comprimido y controlado dentro del mismo; los datos obtenidos demuestran que la presión máxima soportada por el bidón lo cual fue 2 psi.

Se procede a sellar herméticamente con silicona el borde inferior de la tapa del primer bidón, la cual también se perfora para instalar la llave de paso, el codo a 90°, un segundo manómetro, el cableado de los sensores y de la celda peltier adjunto al cableado del sensor termocupla; a continuación se juntan los disipadores a la celda peltier y se integra la termocupla; para un funcionamiento independiente se deja suspendida en el aire el conjunto de componentes encargados de entregar calor usando un hilo de cobre recubierto con aislante eléctrico y térmico, el cual se sujeta en la parte superior al codo de cobre. Se recorta y se pegan dos fracciones de teflón para sujetar los sensores a la tapa y que de este modo queden fijos, se deja secar y al finalizar se instalan los sensores con tornillos, se pasa el cableado correspondiente a través de las perforaciones y se sellan con resina, . Se tapa el bidón y se ajusta con su respectiva abrazadera metálica, se procede a realizar las pruebas de presión utilizando nuevamente el compresor. En esta ocasión los resultados arrojan que la máxima presión soportada por el bidon fue de 3.4 psi.

Se monta el bidón a la estructura y se procede a cargar de materia prima con un total de 30 kg de los residuos de naranja y se sella con su respectiva tapa. Se conectan las mangueras desde la llave del bidón uno hasta la válvula antirretorno y desde esta hasta la llave del bidón dos.

Para la programación de del regulador de temperatura se realiza con la ayuda de la plataforma arduino el cual se configura con parámetros PI (Prolonga, Integra), se recurre al método de sintonización heurístico (Prueba y Error); este método sigue reglas generales para obtener resultados aproximados o cualitativos, siendo este un lazo de control PID muy usado a nivel mundial.

Es importante mencionar que existen diversos métodos de sintonización de control PID,+

como es el caso del modo matemático el cual se modela con la ecuación DE Laplace, que tras horas de cálculos o con el apoyo de un software como Matlab y con los métodos de Ziegler y Nichols permite hallar los parámetros adecuados.

El método sintonización PID heurístico “prueba y error”, se puede realizar si se tiene claro cuál es la característica del proceso que se está controlando y reconocer la aplicabilidad de las acciones P, I y D para una aplicación en particular. Para ello se experimenta con valores aleatorios en los parámetros P, I y D y aunque es muy tedioso en el mejor de los casos y peligroso en el peor de los casos pues se es consciente de que si no entiende lo que cada tipo de acción de control provoca en el proceso, y las limitaciones de cada acción de control.

Una vez entendido lo anterior se asume que se han tomado todas las medidas de seguridad para el proceso (cosas como cuánto es lo máximo que puede perturbar la variable de proceso). Una correcta sintonización “prueba y error” se realiza.

Realiza pruebas en manual o lazo abierto para determinar la característica del proceso (autorregulado, integrativo, ganancia en estado estable, ruido, tiempo muerto, constante de tiempo, lag order, etc), y nos aseguramos que la instrumentación y el proceso estén sin problemas. Corrige todos los problemas antes de continuar.

Identifica si alguna acción del PID pudiera ser problemática (como el ruido por ejemplo), y no la usaremos y solo una pequeña cantidad.

Dependiendo del proceso, identifica qué acción proporcional o integral es más dependiente para ser estable. Esta acción dominante es la primero vamos a sintonizar.

Inicia con todos los términos del controlador para una mínima respuesta (mínimo P, mínimo I, no D).

Fija la acción dominante a un valor seguro (ejemplo, ganancia menos de 1, tiempo integral mucho más grande que la constante del proceso) y revisa la respuesta del proceso en lazo cerrado antes cambios de setpoint y cambios de carga (perturbaciones). No olvides verificar el tipo de ecuación PID que usas.

Incrementa la agresividad de esta acción hasta lograr demasiado overshoot. Recuerda que el objetivo operacional manda, algunas veces por ejemplo bastante overshoot no es malo.

Incrementa la agresividad de las otras acciones (preferible la derivativa al final), tanto como se requiera y logres un equilibrio entre estabilidad y velocidad de respuesta.

Nuevamente, tu objetivo operacional manda.

Si el lazo quedará muy agresivo (oscilaciones por ejemplo), puede revisar las fases entre la PV y la Salida para identificar qué acción provoca esto y atenuarlo.

Repetir los últimos 3 pasos si lo quieres.

“Siguiendo los pasos antes mencionados y teniendo en cuenta que es importante comprender plenamente el conocimiento acerca del proceso a realizar y saber el objetivo a cumplir sobre el control, será esto clave para lograr con éxito una sintonización heurística” esto según Instrumentacion y control.net

Con la plataforma Arduino se creó el código para el funcionamiento de los sensores (MQ4, MQ 4, DTH11) los cuales fueron probados antes de ser instalados y quedar sellados dentro de los bidones, se implementó un microcontrolador Arduino nano para ejecutar el código y se diseñó una tarjeta PCB la cual se la utilizó como medio para conectar el microcontrolador con los sensores y de este modo facilitar la alimentación de energía y optimización de espacio.

Los sensores de la familia MQ se caracterizan por detectar gases en ambientes abiertos y cerrados midiendo su concentración en PPM, para el experimento se implementó el sensor MQ4 cuyo diseño según su especificación técnica está configurado para la detección de metano, carbono y butano. Cabe resaltar que estos sensores pueden detectar otros gases como el carbono, oxígeno, alcohol, humo, hidrógeno, gas licuado y aire según su programación. “La sensibilidad para detectar la concentración de uno o más gases se establece según la relación de la resistencia de cada sensor, los datos de concentración de gases para estos sensores van desde los 200 PPM hasta los 10000 PPM” esto Según JAYCON SYSTEMS.

Las lecturas porcentuales obtenidas son solo aproximaciones de los valores reales, para obtener datos con mayor precisión se recomienda dejar que el sensor se caliente previamente 15 a 20 min, esto según su hoja de datos para sensores sin módulo, en el caso de los sensores implementados las lecturas se presentan de manera inmediata.

Una vez ensamblado y cargado con los residuos de naranja se toma la hora de inicio para las observaciones de los datos que arrojan los sensores y manómetros. Se establece agitar el bidón con los residuos cada 24h durante los siguientes 30 días. Al cabo de las primeras 24h se realiza un chequeo y se encuentran los siguientes datos:

La temperatura dentro del sistema es óptimo para el proceso anaeróbico, debido a la implementación de un control de temperatura usando celda peltier como método para regular la temperatura y con la ayuda del sensor termocupla se monitorea en tiempo real la temperatura en el sistema siendo la más óptima para el proceso anaeróbico los 40°C. La celda tarda 5 min en llevar la temperatura a su punto óptimo partiendo desde la temperatura ambiente de 17°C, de este modo se realiza monitoreos se opta por realizar monitoreos diarios.

El sensor DTH11 indica que la temperatura dentro del contenedor es de 25°C y presenta una humedad de 76%, mientras que el sensor MQ4 arroja una concentración de 0.015 PPM de CH₄ y el sensor MQ2 arroja una presencia de gases en el tanque de almacenamiento de 0.18 PPM.

A partir del día siete los datos arrojados por el sensor DTH11 indican una humedad del 96% y una temperatura de 40°C, así mismo el sensor MQ4 nos indica una concentración de 1.95 PPM de CH₄ y el sensor MQ4 indica una concentración de 1.11 PPM de CO₂.

A partir del día 15 los datos arrojados por el sensor DTH11 indican una humedad del 96% y una temperatura estable de 40°C, así mismo el sensor MQ4 nos indica una concentración de 2.53 PPM de CH₄ y el sensor MQ4 indica una concentración de 2.63 PPM de CO₂.

Finalmente, para obtener el resultado de la eficiencia de la producción de biogás con el modelo experimental, se hace uso del método manométrico para calcular el volumen de Metano, además de calcular el potencial bioquímico de este, esto teniendo en cuenta los resultados que se obtuvo en el desarrollo del modelo experimental, como se muestra a continuación:

9.2. Análisis de resultados

A continuación se muestra la tabla de los resultados obtenidos con respecto a la obtención de biogás mediante el proceso anaeróbico y su respectiva gráfica.

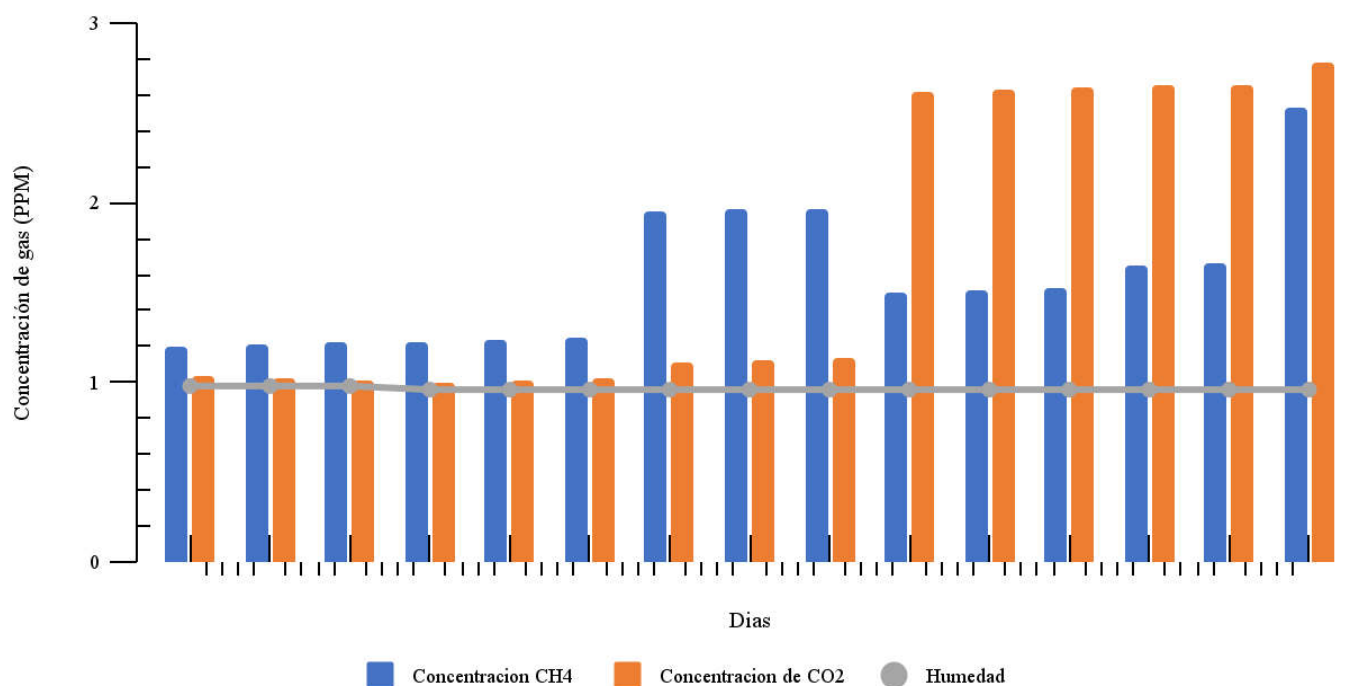
Tabla 14: Análisis de resultados obtenidos

Días	Humedad	T °C	Concentración	
			CH4	Concentración de CO2
1	98%	40	1.2	1.03
2	98%	40	1.21	1.02
3	98%	40	1.22	1.01
4	96%	40	1.23	1
5	96%	40	1.24	1.01
6	96%	40	1.25	1.02
7	96%	40	1.95	1.11
8	96%	40	1.96	1.12
9	96%	40	1.97	1.13
10	96%	40	1.5	2.62
11	96%	40	1.51	2.63
12	96%	40	1.52	2.64
13	96%	40	1.65	2.65
14	96%	40	1.66	2.66
15	96%	40	2.53	2.78
			5.31	

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4: Gráfica de barras de resultados obtenidos

Relacion de generacion de gas a T cte °C(40°C)



Nota: Esta gráfica muestra el comportamiento del biogás a lo largo de un periodo de 15 días y con una temperatura constante de 40°C, tomando como datos los componentes del mismo tales como el metano(CH4) y el Carbono(CO2) y en conjunto lecturas de la humedad presente en sistema.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, es posible decir que no se puede hacer una comparación directa entre resultados debido a que no se establece una unidad en común entre los proyectos, es posible hacer un análisis aproximado tomando como referencia los objetivos a cumplir, la extracción de diferentes componentes como es el etanol, Biogás(metano), biocombustibles, entre otros, los cuales son producto de la extracción a partir de los residuos de naranja y en algunos casos en combinación con otros componentes como residuos de piña y gasolina. Los resultados y el método para cada propósito arrojan el potencial de los residuos de naranja, finalmente se puede decir que para este caso se usaron 30 kg de residuos, la producción de metano y carbono es de 5,31 PPM equivalente al 65-70% y 25-33% más una pequeña cantidad de otros gases que hacen parte de la composición del biogás cuales no se tuvieron en cuenta para esta evaluación, esto significa que la producción de biogás presentó un buen rendimiento y

eficiente dentro cual arrojó un volumen de 38,22 L de Metano implementando el método de cálculo manométrico.

9.3. Evidencia fotográfica del ensamblaje y materiales utilizados

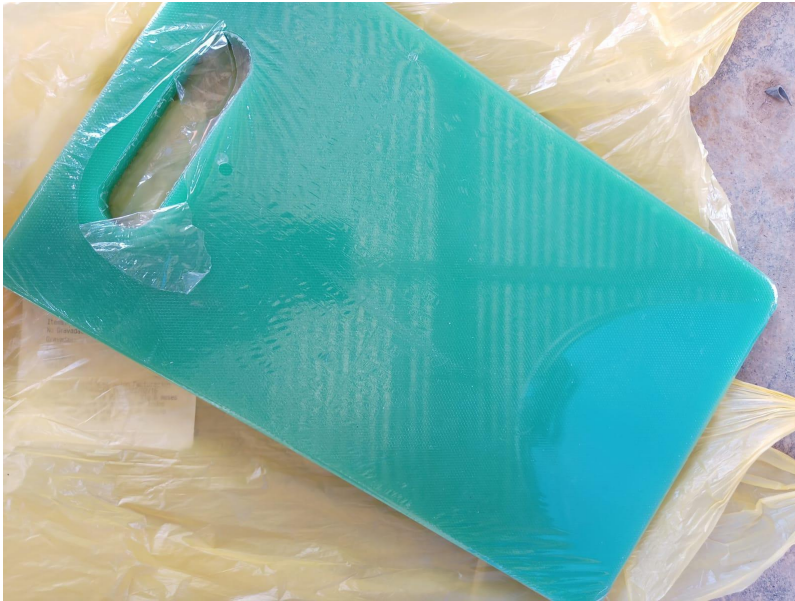
A continuación se muestra una serie de fotografías que demuestran la cadena de ensamble, y los tipos de materiales que se usaron para el desarrollo del ensamblaje experimental.

Ilustración 6: Pegamento



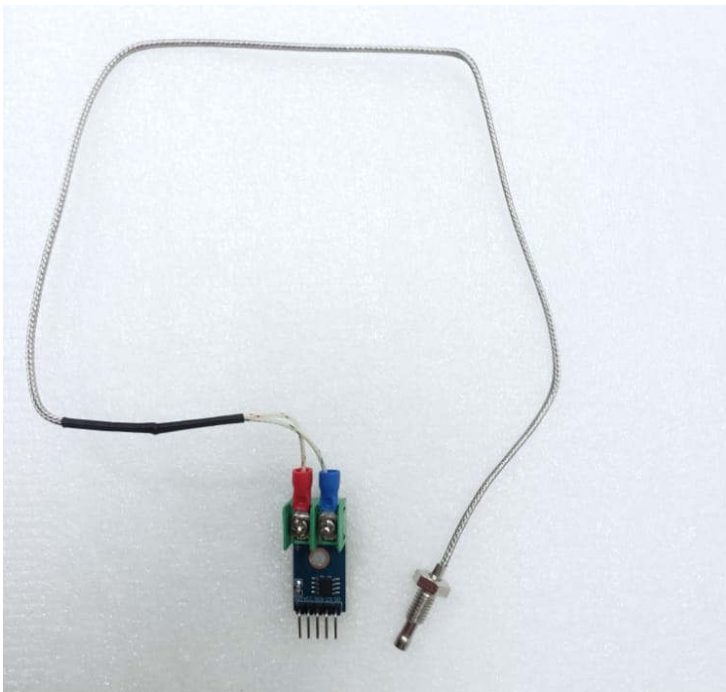
Nota: El tipo de pegamento que se usó es la resina epóxica de alta resistencia a condiciones de humedad, altas temperaturas y efectiva adherencia. Se implementa para adjuntar el policarbonato a la superficie interna de los tanques y sellar perforaciones. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 7: Tabla de policarbonato



Nota: Es un plástico de alta resistencia a condiciones de altas temperaturas e impactos, lo cual la hace un material eficiente para función como base de los sensores y permite tener una mejor adherencia a superficies lisas, como pegante se usó pegamento epóxico. Fecha: 04/05/2022

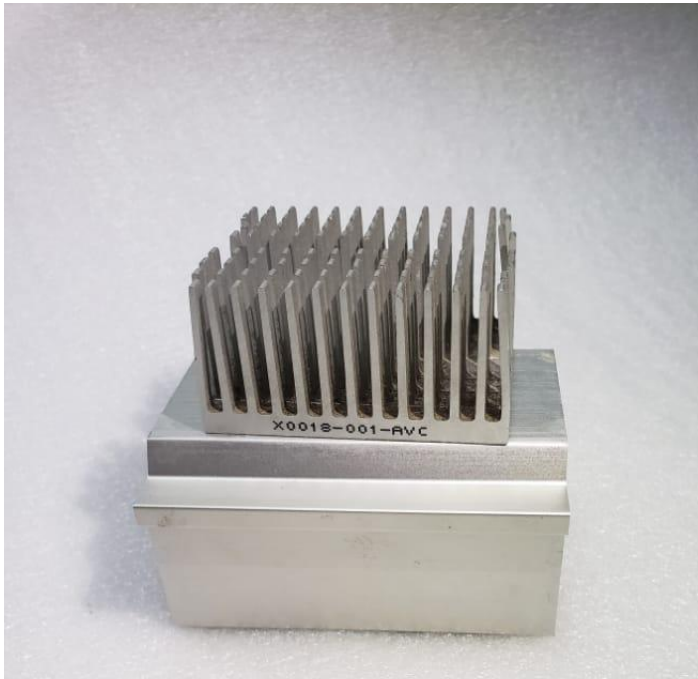
Ilustración 8: Sensor 6575 y Termocupla



Nota: Es una herramienta de medición de temperatura que trabaja eficientemente en entornos difíciles, tiene la capacidad de medir de manera precisa y rápida la temperatura en cualquier

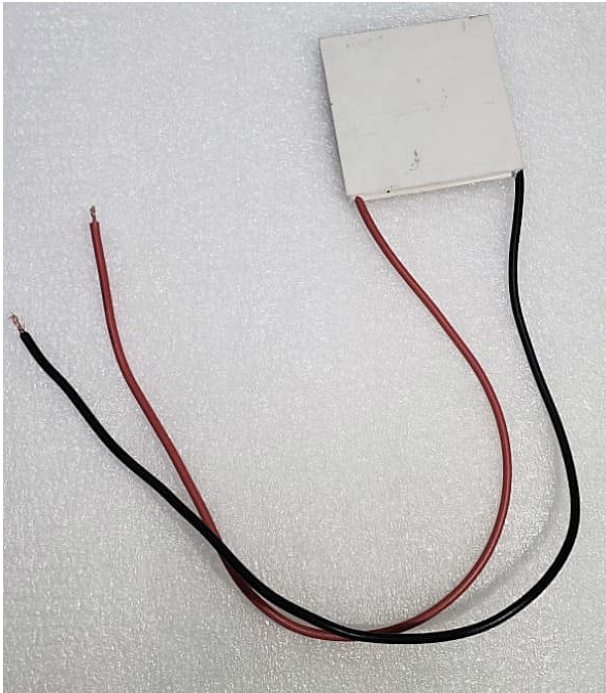
lugar, se implementa para hacer lecturas de temperatura a los disipadores dentro del sistema sellado. Fecha: 10/07/2022

Ilustración 9: Disipadores



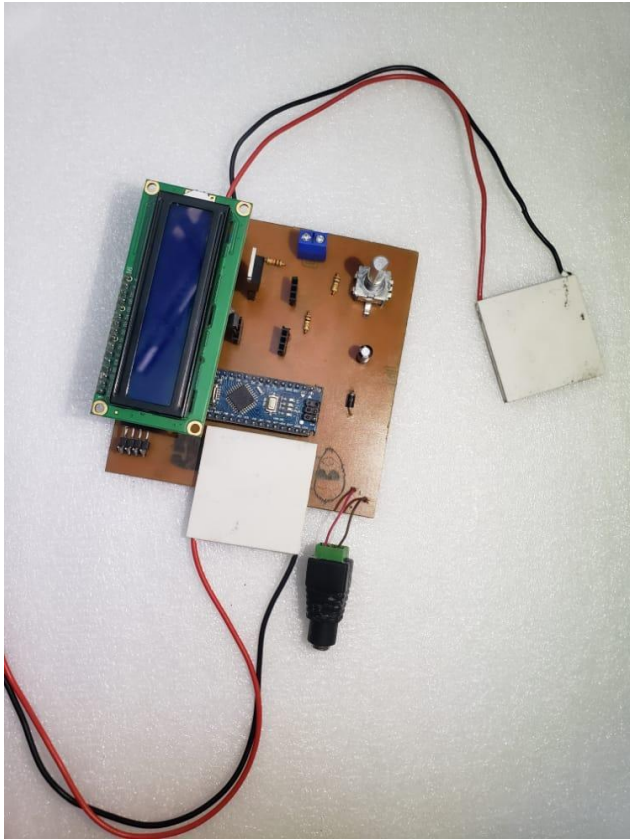
Nota: Este elemento se encarga de disipar o eliminar el calor que genera un componente eléctrico. Encargado de absorber el calor generado por la celda peltier y transferirlo a su alrededor, facilitando el control de temperatura dentro del tanque. Fecha: 10/07/2022

Ilustración 10: Celda Peltier



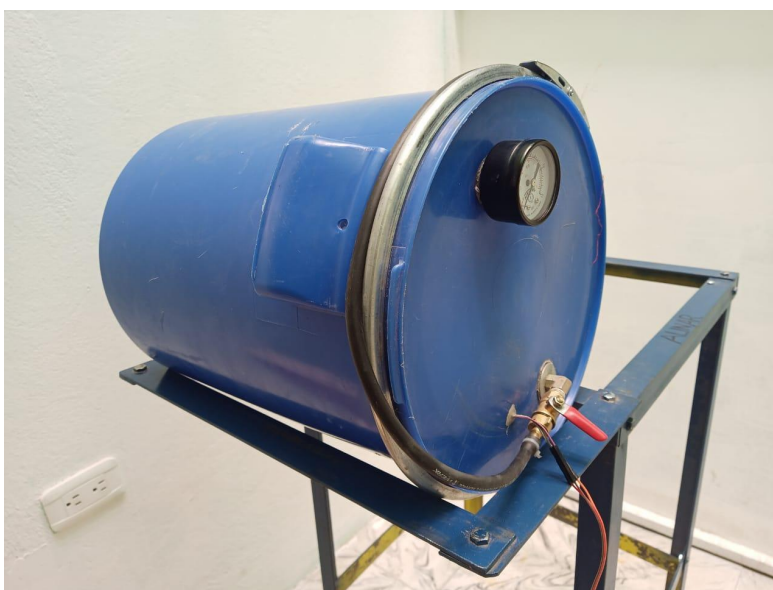
Nota: Este elemento genera una diferencia de temperatura entre sus caras al ser circuladas por corriente. Implementado con el fin de generar calor y frío, de este modo controlar la temperatura dentro del sistema al regular los pulsos eléctricos con un microcontrolador previamente programado. Fecha: 10/07/2022

Ilustración 11: Módulo 1



Nota: Este módulo se encarga de generar lecturas de la termocupla y mostrarlas en la pantalla LCD, así como de enviar los pulsos eléctricos a la celda peltier para regular la temperatura dentro del tanque, cuenta con un encoder rotativo que permite configurar la temperatura de operación de la celda. Fecha: 10/07/2022

Ilustración 12: Bidon (tanque 2)



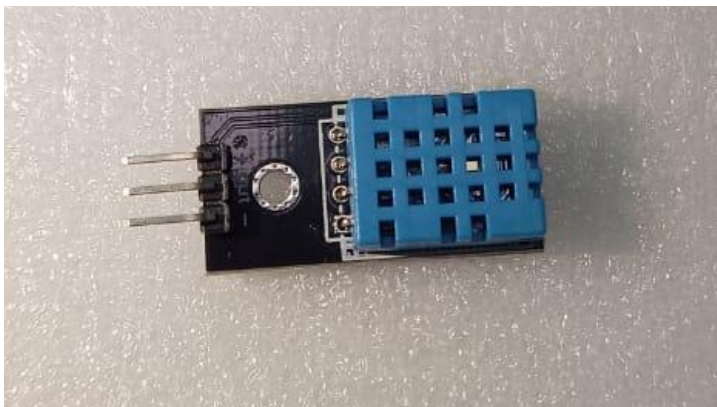
Nota: Esta es una caneca plástica de 20 litros con tapa y zuncho metálico. Se implementa como medio para almacenar el biogás generado en el tanque 1, medir su concentración de gas y cuantificar la presión ejercida por el biogás. Fecha: 10/07/2022

Ilustración 13: Estructura



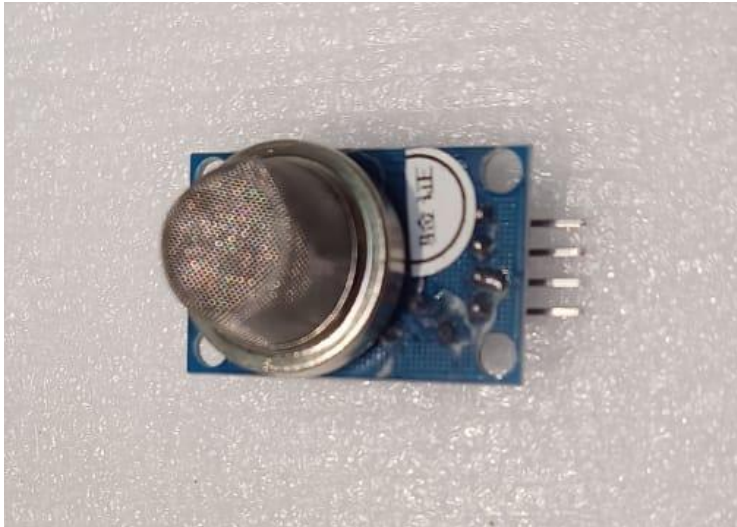
Nota: Este es un soporte metálico conformado por ángulos y correas en acero inoxidable, diseñado como base para mantener en una misma ubicación los tanques 1-2, los módulos de control y demás componentes que son parte del funcionamiento del prototipo. Fecha: 10/07/2022

Ilustración 14: DTH11



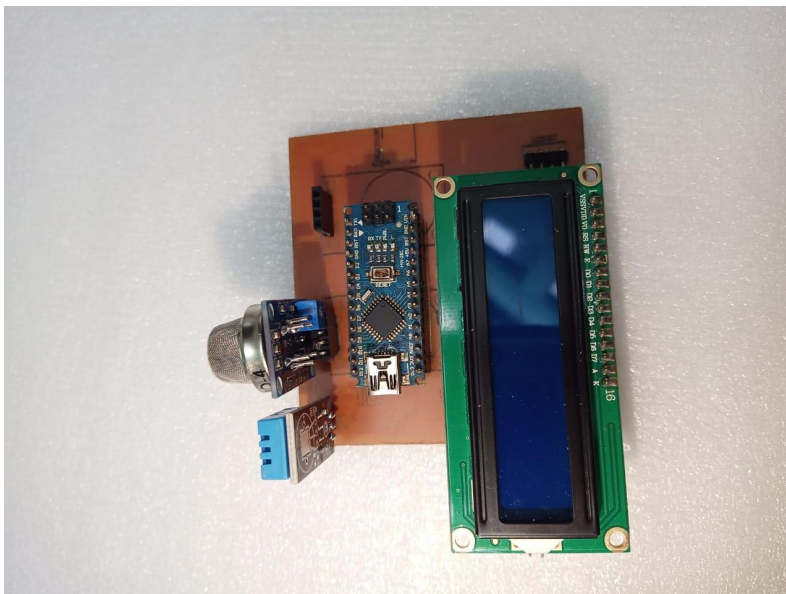
Nota: Este es un sensor de temperatura y humedad con salida digital calibrada, compatible con la tecnología arduino, su función es recolectar datos de la temperatura y humedad dentro del tanque 1. Fecha: 10/07/2022

Ilustración 15: MQ4



Nota: Este sensor para la detección de gases en partículas por millón (ppm) del tipo de gas: metano, CO2, natural y GNL, su sensibilidad se puede calibrarse con el potenciómetro, este se encuentra dentro de los tanques 1-2 y envía señales que permite medir la concentración de gas existente dentro de los tanques. Fecha: 10/07/2022

Ilustración 16: Módulo 2



Nota: Este módulo está diseñado para enviar y recibir pulsos eléctricos, alimentar los sensores, así como de mantener en monitoreo valores como la temperatura y humedad, la concentración de gases, cuenta con una pantalla LCD donde nos muestra los valores numéricos de las lecturas en PPM, °C y %. Fecha: 10/07/2022

Ilustración 17: Residuos



Nota: Se alimenta el tanque 1 con un total de 20 Kg de residuos y bagazo de naranja para dar inicio al proceso anaeróbico controlando variables como la temperatura de tal modo que esta sea óptima para el desarrollo de los microorganismos encargados del proceso anaeróbico.

Fecha: 10/07/2022

Ilustración 18: Ensamblaje



Nota: Este es el montaje del proyecto y puesta en funcionamiento después de hacer pruebas de hermeticidad y activar los módulos 1-2. Se hacen revisiones cada 24 horas y se recolectan los datos registrados. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 19: Ensamblaje



Nota: Montaje de tanque 1 en la estructura de soporte metálica usando como soporte resortes de compresión que permiten generar movimiento al aplicar fuerza muscular, esto con el fin de agitar los residuos dentro del tanque 1. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 20: Abrazadera



Nota: Correa metálica cortada y moldeada a la medida del tanque 1, se emplea como elemento para sujetar y unir el tanque a la estructura. La cual cuenta con soldadura y tornillos para un agarre firme y preciso. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 21: Resortes de compresión



Nota: Son un componente elástico en espiral, cumple la función de sujetar el tanque 1 a la estructura, soportando la carga de residuos de naranja dentro del tanque y a su vez transfiere la fuerza muscular para lograr una agitación de los desechos. 04/05/2022

Ilustración 22: Placa



Nota: Se adiciona placas de 4 cm de largo por 1.5 cm de ancho en cada extremo de los resortes, las cuales se encuentran perforadas con el fin de fijar a la estructura y a la respectiva abrazadera. Estas se soldán de modo que brindan firmeza y estabilidad del tanque mientras este en reposo y cuando se agite. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 23: Tapa



Nota: La tapa de tanque 1 con perforaciones para implantar su respectiva llave y manómetro. Se situó pequeñas bases en policarbonato adheridas con pegamento epóxico en las cuales reposan los sensores de gas y temperatura y humedad. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 24: Sellante



Nota: Se aplica silicona al borde externo del tanque 1 para mejorar el sellado y garantizar la hermeticidad, se deja secar por 1 hora y se procede a tapar. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 25: Tapa tanque 2



Nota: Cuenta con perforaciones destinadas a la salida del gas por medio de un codo de 90 grados, manómetro, salida de cable del sensor y base de policarbonato donde reposa el sensor, se aplica silicona y pegamento epoxico para sellar las perforaciones con sus respectivos componentes. Se aplica silicona al borde interno para mejorar la hermeticidad del tanque. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 26: Marco



Nota: Se ajusta con tornillos los ángulos que conforman la parte superior de la estructura previamente cortados y perforados. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 27: Válvula antirretorno SNTC



Nota: Componente mecánico que permite el paso de un fluido en un sentido y evita que este se retorne al bloquear el paso, cuenta con un resorte calibrado que deja fluir una presión de 0,005-1,2Mpa, Permitiendo el paso del biogás desde el tanque 1 al tanque 2. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 28: Conexión



Nota: Se habilita la conexión de la válvula antirretorno con la llave en la tapa del tanque 2 y se ajusta con abrazaderas plásticas. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 29: Aplicación



Nota: Se utilizó ACEITE 15W50 para lubricar las conexiones de tal modo que se facilita el empalme de la manguera con la válvula antirretorno. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 30: Codo



Nota: Se insertó un codo de 90 grados a una perforación previamente hecha a la tapa del tanque 2, cuya función es permitir el ingreso del biogás proveniente del tanque 2. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 31: Aplicación



Nota: se aplicó silicona al empaque respectivo del codo con el fin de prevenir posibles fugas de fluido gaseoso. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 32: Abrazadera plástica



Nota: Elemento plástico que se emplea como sistema de ajuste para la manguera, siendo más liviana que la abrazadera metálica y bastante efectiva para ajustar y sellar. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 33: Silicona gris



Nota: Sellante no adhesivo no corrosivo y alta resistencia a condiciones difíciles, se implementó para sellar el tanque 1 y así mismo sus componentes debido a su composición soporta altas presiones y variantes de temperatura. 04/05/2022

Ilustración 34: Manguera TG 3/16



Nota: Tubo recubierto en polímero termoplástico resistente al paso de componentes químicos, para transporte de fluidos y alta resistencia a elevadas presiones. Se utilizo para mover el biogás desde un tambor a otro. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 35: Instalación



Nota: Se procede a instalar y asegurar el manómetro en la tapa del tanque, aplicando silicona y ajustando con el racor para fijar. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 36: Cable UTP y Jumpers



Nota: El cable utp tiene sus conductores aislados y se utiliza como medio para alimentar las tarjetas PCV encargadas de distribuir la energía a los demás componentes como las tarjetas arduino nano. Los cables jumper se usan como conexión entre los sensores y la tarjeta arduino. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 37: Niples



Nota: Elementos en cobre cuya función es unir mediante rosca componentes como llaves y codos. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 39: Llave 1/2 pulgadas



Nota: Llave de paso en cobre que controla el flujo de fluidos, debido a su material soporta altas presiones, se implementó para tener un mejor control de los fluidos gaseosos que se desplazan entre el tanque 1 y tanque 2. 04/05/2022

Ilustración 40: Racor



Nota: Componente en cobre con capacidad de soportar presiones elevadas y su función es unir la manguera con un contenedor, se implementó para enviar el biogás desde un tanque a otro. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 41: Codo



Nota: Componente en cobre, con ángulo de 90 grados tiene puntas roscada, se implementa como conducto para mover de un punto a otro el biogás. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 42: Manómetro



Nota: Instrumento de medición para la presión de fluidos como el gas en contenedores cerrados, se usa un manómetro de baja presión entre 0-15 psi con la finalidad de conocer la presión dentro de los tanques 1 y 2. Fecha: 04/05/2022

Ilustración 43: Programación Arduino Sensores MQ

```

DHT dht (DHTPIN, DHTTYPE);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

const int mq2 = A0;
const int mq4 = A1;

float m = -0.6527;
float b = 1.30;
float R0 = 21.91;

void setup() {

  lcd.begin();
  lcd.backlight();
  lcd.print("MONITOR");
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print("ANALIZADOR DE GAS");
  delay (3000);
  lcd.clear();

  lcd.print("POR");
  lcd.setCursor(0, 3);

```

Nota: Programación implementada en plataforma arduino, encargada del monitoreo en conjunto con los sensores MQ de la detección de composición de biogás en el sistema.

Ilustración 44: Programación Arduino temperatura

```

codigo_pid
OneWire onewire(8);
DallasTemperature sensors(&onewire);
double Setpoint, Input, Output;
double Kp=55, Ki=29, Kd=0;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, REVERSE);
boolean modo = false;
String modos = "";
float OP;
const int pot =0;
const int vent =5;
int velocidad;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,2, 1, 0, 4, 5, 6, 7);

void setup(void) {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(vent, OUTPUT);
  sensors.begin();
  sensors.setResolution(0, 11);
  lcd.begin(20,4);
  lcd.setBacklightPin(3, POSITIVE);
  lcd.home();
}

```

Nota: Programación implementada en plataforma arduino, encargada de la regulación de temperatura dentro del sistema, desarrollada con enlace PID y sintonizada con método “Prueba y Error”.

10. Conclusiones

De este modo, la línea de investigación con respecto a la obtención de biogás se centra en la obtención de un biogás en específico para cada uno de los objetivos planteados en cada línea investigativa, así pues, algunos se centran en la obtención de Biocombustible, y utiliza un método de medición del octanaje, por otra parte, la obtención de industrial de bioetanol se da en diversos estudios mediante la fermentación alcohólica, y utiliza un método de medición que se centra en la concentración de glucosa.

Así pues, cada proyecto utiliza un proceso diferente para la obtención de biogás y biocombustible que les resulta óptimo para el desarrollo de sus objetivos, además de hacer uso de distintos métodos de medición que dificultan el análisis y comparación de un planteamiento a otro, finalmente, el método que se implementó para la medición de gas en esta investigación se realizó mediante sensores específicos, que permitió conocer la concentración de partículas que el biogás contiene.

Por otra parte, es posible establecer que se realizó una caracterización pertinente del comportamiento de los residuos de naranja como compostaje y fuente de energía calórica y térmica, para lo cual se tiene en cuenta la visión e información presentada por diferentes autores, que aunque plantean formas diversas de aprovechamiento energético, y que se intentan comparar aun teniendo en cuenta las limitaciones que se mencionaron anteriormente.

También es necesario mencionar que, con base en la información referente a los volúmenes teóricos generados por la fuente seleccionada de producto (Cáscara y los residuos de la naranja) se realiza un análisis de potencial calórico que permite identificar cuánto volumen por día es requerido para una cantidad determinada de Biogás que permita su uso doméstico. Como recomendación, una fase dos debe ser implementada donde sea analizado el verdadero potencial de producción con el producto disponible de la fuente seleccionada y hacer un análisis comparativo de los hallazgos teóricos.

El análisis teórico permitió extrapolar, con base en los valores referencia de las propiedades del residuo de naranja, un balance estequiométrico para obtener una cantidad de biogás determinada, teniendo en cuenta pérdidas, errores y variables adicionales de seguridad. El proceso anaerobio no es enteramente controlable bajo las premisas de diseño

acá descritas, por lo cual una recomendación muy loable es validar las reales pérdidas de potencial biogás asociadas a las limitantes presentadas por el alcance físico del proyecto y métodos de control de las variables.

La fabricación de un diseño experimental permitió visualizar de manera asertiva las variables que influyen dentro del proceso anaeróbico que impactó de manera positiva el plan de trabajo inicialmente definido proporcionado por los análisis de campo, la obtención de materias primas y los cálculos preliminares.

El experimento arrojó resultados positivos demostrando que mediante el proceso anaeróbico utilizando los residuos de cáscara de naranja y controlando algunas variables necesarias es efectiva la producción de biogás.

La implementación de residuos de naranja como elemento para obtener biogás permite disminuir la huella de carbono que esta genera al ser arrojada al aire libre, la investigación proyecta que por cada 30 kg de residuos de naranja que se aprovecha hay una reducción de 2.730 g de carbono que contribuyen al efecto invernadero.

Referencias

- Ortíz, H. (2018). Mejoramiento de condiciones ambientales mediante el control de vectores que transmiten las enfermedades del dengue y la malaria, con participación de la comunidad de la vereda La Y, kilómetro 46, municipio de Tumaco, Departamento de Nariño. Universidad Santo Tomás. Recuperado de:
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/43601/1.ortizhenry2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Compromiso RS. (2010). Cáscaras de naranja: nueva vía para obtener biogás. Revista virtual. Recuperado de:
<https://www.compromisorse.com/rse/2010/09/24/cascaras-de-naranja-nueva-via-para-obtener-biogas/#:~:text=Nuevo%20uso%20para%20las%20c%C3%A1scaras&text=Es%20destacable%20que%20aproximadamente%20entre,formados%20por%20c%C3%A1scara%20y%20pulpa>
- Acosta, P. (2017). Diseño teórico de una planta de producción de biogás a partir de residuos de naranja en la ciudad de Bogotá. Fundación Universidad de América. Recuperado de: <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/7951>
- Agencia Extremeña de la Energía. (2007). Los residuos ganaderos. Recuperado de <https://www.agenex.net/images/stories/deptos/los-residuos-ganaderos.pdf>
- Arenas, B. (2019). Propuesta para el diseño de un biodigestor anaerobio como sistema de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, generados en las viviendas del proyecto “La Villa Solar” ubicado en la ciudad de Buenaventura - Colombia. Universidad de La Salle, Bogotá. Recuperado de: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2123&context=ing_sanitaria

Hidalgo, D. (2019). PRODUCCIÓN DE BIOMETANO. Cartif. Recuperado de:
https://cyted.org/sites/default/files/produccion_de_biometano_cartif.pdf

Cárdenas, B; Revah S; Hernández S; Martínez A; & Gutiérrez V. (2003). Tratamiento biológico de compuestos orgánicos volátiles de fuentes fijas: Biological treatment of volatile organic compounds of fixed sources. Instituto Nacional de Ecología (INE). Recuperado de:
<https://www.virtualpro.co/biblioteca/tratamiento-biologico-de-compuestos-organicos-volaticos-de-fuentes-fijas-#:~:text=La%20biofiltraci%C3%B3n%20se%20define%20como%20presentes%20en%20la%20fase%20gaseosa>

Foro nuclear. (2017). ¿Qué es el petróleo y qué usos tiene? Recuperado de:
<https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-el-petroleo-y-que-usos-tiene/>

Rey, C. (2022). gasolina. Recuperado de: <https://prezi.com/p/quk4wp21empt/gasolina/>

Romero, A. (2010). APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA A LOS COMBUSTIBLES FÓSILES. Departamento de Ingeniería Química, Universidad Complutense de Madrid. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Valverde 22, 28004 Madrid. Recuperado de:
<https://rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>

Cárdenas, L; Parra, B; Torres, P. & Vásquez, C. (2016). Perspectivas del ensayo de Potencial Bioquímico de Metano - PBM para el control del proceso de digestión anaerobia de residuos. Universidad Industrial de Santander. Recuperado de:
<https://www.redalyc.org/journal/3420/342046466009/html/>

Echeverri, A. (2019). Determinación del potencial de producción de biogás y bioetanol del residuo de naranja. Universidad de los Andes, Bogotá. Recuperado de:
<https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/45497>

Vera J; Anchundia, G; & Mendoza, M. (2019). PRODUCCIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE FERMENTACIÓN LÍQUIDA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE PIÑA Y

NARANJA. Revista Científica Yachasun. Recuperado de:
<https://editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/view/25>

Volta. (2019). Consecuencias de un mal manejo de residuos. Recuperado de:
<https://www.voltachile.cl/4-impactos-ambientales-de-un-mal-manejo-de-residuos/#:~:text=El%20incorrecto%20manejo%20de%20los,del%20agua%2C%20suelo%20y%20aire.>

Henríquez, A. (2010). PROBLEMÁTICA AMBIENTAL POR MAL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS EN EL MUNICIPIO DE GALAPA. Barranquilla, Atlántico, Colombia. Recuperado de:
<https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/07/463-Colombia-oral.pdf>

Torres, T. (2015). ANÁLISIS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS QUE SE GENERAN EN LA ZONA RURAL TURÍSTICA “LA BOCANA”. Universidad Del Valle: Facultad Ciencias De La Administración. Programa Académico Administración De Empresas, Buenaventura. Recuperado de:
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/10819/0523774.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hernández, A; Guerra, W; & Vélez, O. (2016). Identificación y caracterización de tecnologías para el aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos, aplicables en los municipios de la jurisdicción de Cornare. Corporación Universitaria Lasallista.
http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1774/1/Aprovechamiento_residuos%20solidos_organicos.pdf

Diario del Sur. (2022). Declaran emergencia sanitaria en Tumaco.
<https://diariodelsur.com.co/local/declaran-emergencia-sanitaria-en-tumaco>