

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DOMÉSTICOS PARA USO COMO COMBUSTIBLE AUTOSUSTENTABLE EN UN QUEMADOR RESIDENCIAL

PRODUCTION OF BIOGAS FROM DOMESTIC ORGANIC SOLID WASTE FOR USE AS A SELF-SUSTAINING FUEL IN A RESIDENTIAL BURNER

Christian Alexis Carmona Guerra* (1)
Esmeralda Vidal Robles (1)
Griselda Corro Hernández (1)
Fortino Bañuelos Romero (1)

<https://orcid.org/0000-0001-0000-0000>
<https://orcid.org/0000-0002-0000-0000>

Recibido: 1 de Diciembre 2024

Revisado: 2 de Enero 2025

Publicado: 20 de Enero 2025

FOLIO A11N29.25/947

cg223470228@alm.buap.mx
esmeralda.vidal@correo.buap.mx
griselda.corro@correo.buap.mx
fortino.banuelos@correo.buap.mx

(1): Maestría en Ciencias en Energías Renovables ICUAP BUAP

La producción de biogás a partir de residuos orgánicos es una solución eficaz para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y nuestra dependencia de los combustibles fósiles. Esta tecnología es especialmente adecuada para las zonas rurales y es asequible y fácil de implementar. El proceso de digestión anaeróbica convierte los residuos orgánicos en una fuente de energía sostenible y biofertilizante para la agricultura. El biogás ofrece varios beneficios en términos de sostenibilidad, economía y eficiencia energética. Al gestionar los residuos orgánicos de forma eficiente, podemos reducir la cantidad de residuos enviados a los vertederos y capturar metano, un potente gas de efecto invernadero. Las comunidades rurales y las granjas pueden generar su propia energía, disminuyendo su dependencia de los combustibles fósiles. La implementación de un sistema de biodigestión anaeróbica en un biorreactor discontinuo puede producir biogás con un rendimiento óptimo para el autoconsumo. La purificación del biogás mediante columnas de óxido de zinc y óxido de hierro puede eliminar el sulfuro de hidrógeno, lo que permite su uso como combustible en quemadores residenciales. La utilización del biogás procedente de residuos orgánicos como fuente de energía renovable es prometedora para reducir nuestra huella de carbono, mejorar la gestión de residuos y promover sistemas energéticos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

Palabras clave: Biogás, energía renovable, residuos sólidos, metano (CH₄), biodigestor.

Abstract

Biogas production from organic waste is an effective solution to reducing greenhouse gas emissions and our reliance on fossil fuels. This technology is particularly suitable for rural areas and is affordable and easy to implement. The anaerobic digestion process converts organic waste into a sustainable energy source and biofertilizer for agriculture. Biogas offers diverse benefits in terms of sustainability, economy, and energy efficiency. By managing organic waste efficiently, we can reduce the amount of waste sent to landfills and capture methane, a potent greenhouse gas. Rural communities and farms can generate their own energy, decreasing their dependence on fossil fuels. Implementing an anaerobic biodigestion system in a batch bioreactor can produce biogas with optimal yield for self-consumption. Purifying the biogas using zinc oxide and iron oxide columns can remove hydrogen sulphide, allowing it to be used as fuel in residential burners. Utilizing biogas from organic waste as a renewable energy source shows promise in reducing our carbon footprint, improving waste management, and promoting sustainable and environmentally friendly energy systems.

Keywords — Biogas, renewable energy, solid waste, methane (CH₄), biodigester.

Introducción

Actualmente el 80% de la demanda global de energía se satisface utilizando combustibles fósiles, de acuerdo con los datos reportados por la agencia internacional de Energía (IEA). Estudios recientes han mostrado que la demanda energética se duplicará para 2050. Al mismo tiempo las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera están creciendo a un ritmo acelerado, siendo las emisiones de CO₂ provenientes de los combustibles fósiles la principal fuente de este aumento. Si continúan las tendencias en las emisiones de carbono excederán ampliamente el límite necesario para mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2°C, lo que provocará consecuencias climáticas catastróficas para el planeta [1].

En este contexto, el biogás generado a partir de desechos urbanos, residuos ganaderos y agroindustriales jugará un papel crucial en el futuro. Como fuente de energía renovable versátil, el biogás puede reemplazar a los combustibles fósiles en la generación de energía y calor, además de servir como combustible gaseoso para vehículos. El biogás rico en metano (biometano) también puede sustituir al gas natural como materia prima en la producción de productos químicos y materiales [2].

La producción de biogás ha generado un gran interés en los últimos años, siendo una de las tecnologías más accesibles y de fácil implementación especialmente en áreas rurales. El biogás no se limita únicamente a su uso como combustible, sino que también como medio para obtener biofertilizantes. Esto lo convierte en una buena opción para su aplicación en regiones con abundante materia orgánica de desecho.

El biogás se produce por la descomposición de la materia orgánica. Se estima que, en promedio, casi el 50% de los residuos sólidos generados diariamente en Puebla son materia orgánica, lo que representa una excelente oportunidad

para aprovechar y transformar estos materiales en productos con valor agregado. Esta conversión no solo ayuda a resolver problemas de contaminación ambiental, también es una alternativa para obtener energía y cubrir las necesidades de combustible en los hogares en especial en zonas rurales de nuestro país.

Desarrollo

En los últimos años, en México ha aumentado la preocupación por la eliminación de residuos orgánicos; anualmente se generan cerca de 76 millones de toneladas de residuos provenientes de actividades agroindustriales. La generación de estos residuos es considerada como uno de los problemas más importantes de impacto ambiental; sin embargo, existen diferentes mecanismos para su aprovechamiento, siendo uno de ellos la tecnología de la digestión anaerobia para evitar su mala gestión, acumulación y sobre todo evitar la contaminación ambiental [3].

Una alternativa es el proceso de digestión anaerobia, el cual consiste en un proceso que conlleva la degradación de residuos orgánicos en ausencia total de oxígeno. En este proceso se genera gas combustible, debido a la eliminación o depuración orgánica causada por múltiples microorganismos encargados de la descomposición de residuos orgánicos. De este modo, el proceso resultará ser óptimo debido a que la mezcla entre biomasa y población microbiana es considerada una fuente valiosa para la producción de biogás [4].

Se propone realizar diversas cargas de biomasa de diferentes residuos orgánicos generados en las cocinas domésticas y depositarles en un biodigestor / biorreactor tipo Batch con agitación semicontinua esperando obtener biogás (gas metano).

El análisis cuantitativo del biogás producido, así como las condiciones cualitativas del reactor, serán monitoreadas de forma constante y automatizada mediante el programa informático Arduino IDE, éste proporcionará datos como pH, control de temperatura en grados Celsius, gas metano producido y cuantificado en partes por millón (ppm) en el reactor, así mismo, dicho programa controlará una bomba

de vacío para generar el vacío inicial requerido en el biodigestor posterior a su carga y también monitoreará la presión en bares contenida en el depósito que albergará el gas metano producido en el biodigestor, dichos parámetros serán medidos con sensores instrumentados a lo largo del sistema de producción (biodigestor), transporte y dispositivo de almacenamiento.

Se caracterizará el gas metano producido y se determinará la calidad de este, para que, en caso de ser viable, pueda ser empleado en los quemadores de uso doméstico, tales como: estufas, bóileres y calefacción. La generación de dicho gas metano se espera que sea a costo neutral o al menos más barata que la compra de gas LP o gas natural, según sea la necesidad del usuario.

Numerosos estudios han demostrado la viabilidad de la producción de biogás a partir de diversos tipos de residuos orgánicos. Por ejemplo, Kusch, Oechsner y Jungbluth [5] evaluaron la producción de biogás a partir de residuos agrícolas y estiércol, encontrando que la codigestión de estos materiales mejora la eficiencia del proceso

A. Adecuación del biodigestor

Se propone adecuar y reutilizar un recipiente de 60 litros de geometría definida por su diseñador para convertirlo en un biodigestor tipo Batch (discontinuo o de régimen estacionario), para producir biogás para consumo doméstico, dicho sistema será instrumentado para monitorear, medir y controlar parámetros que recomiendan algunos autores tales como Varnero Moreno [6]:

- Temperatura
- pH
- Producción de gas metano
- Flujo del gas metano
- Presión en el depósito de almacenamiento
- Generación de vacío inicial

B. Sistema de transporte del biogás (tuberías)

El biogás producido en el biodigestor será conducido por un sistema de tuberías de policloruro de vinilo clorado (CPVC), las cuales se adecuarán para albergar un sensor de producción de metano y un flujómetro mecánico el cuál indicará el volumen de gas producido.

Se estima que las tuberías a emplear sean:

- 1m de tubería de CPVC 4120 de 1" clase C.
- 1 conexión tipo "T" de CPVC 4120 de 1" clase C.
- 1 conexión con rosca tipo macho de CPVC 4120 de 1" clase C.
- 1 conexión con rosca tipo hembra de CPVC 4120 de 1" clase C.
- 2 conexiones reductoras de 1" a 1/2" de CPVC 4120 de 1" clase C.
- 1m de tubería de CPVC 4120 de 1/2" clase C.
- 2 conexiones de 90° de CPVC 4120 de 1/2" clase C.
- 5 conexiones tipo hembra de CPVC 4120 de 1/2" clase C.
- 3 conexiones tipo macho de CPVC 4120 de 1/2" clase C.
- 1 conexión adaptador tipo macho de 1/2" de plástico ABS a manguera de 1/2".
- 1 conexión adaptador tipo macho de 1/2" de bronce a manguera de 3/8".
- 2 conexiones tipo "T" de CPVC 4120 de 1/2" clase C.
- 2 válvulas esféricas de CPVC 4120 de 1/2" clase C.
- 1 conexión tipo tapón de CPVC 4120 de 1/2" clase C.
- 1 cinta Teflón de 20mm.

- 2 empaques de caucho de fabricación propia de 1" interno y 4" externo.
- 1.5m de manguera de 3/8" de PVC reforzada con poliéster.

C. Instrumentación del biorreactor (sensores)

El control y monitoreo de la temperatura (en grados Celsius), el pH, la producción del biogás (gas metano) (en partes por millón) en el biorreactor y la presión en el depósito de almacenamiento (en bares), serán monitoreados utilizando el software Arduino IDE, para ello se utilizarán diversos sensores, dichos valores se verán reflejados en tiempo real y almacenados en la memoria de una computadora para su posterior análisis y generación de curvas cinéticas del biorreactor. Así como la puesta en marcha de una bomba de vacío de una sola utilización por carga.

Los sensores de temperatura y los sensores de pH serán colocados dentro del biodigestor para monitorear la mezcla depositada en él.

El sensor de gas metano se dispondrá sobre las tuberías del sistema de transporte del biogás para realizar la detección de este.

El sensor de presión se instalará en el depósito de almacenamiento del biogás.

1) Sensor de temperatura

La temperatura en grados Celsius será monitoreada mediante 3 sensores DS18B20 y un subcontrolador. El fabricante indica que es fácil de conectar y se puede utilizar en una variedad de entornos.

Posee un rango de medición: -55 ~ 125 °C.

2) Sensor de pH

El pH será monitoreado mediante 2 sensores Hilitandguom gaed8f322 marca Hilitand.

El fabricante indica que el valor de prueba de pH de la sonda del módulo sensor es muy amplio, que el rango de medición

es 0 - 14 pH y la temperatura de prueba es 0° - 80° Celsius.

3) Sensor de gas metano

La producción de gas metano será detectada por el incremento de su presencia en el medio mediante unidades de partes por millón (ppm), a través de un módulo de sensor de metano MQ4 para Arduino.

El proveedor indica que el MQ-4 detector de gas metano es un sensor electroquímico que varía su resistencia al estar en contacto con el gas metano / gas natural y gas LP, su módulo contiene un circuito electrónico que le permite realizar la conexión con alguna tarjeta de desarrollo, y cuenta con salidas analógica y digital.

Es ideal para aplicaciones que buscan detectar o medir la concentración de gas metano (CH₄) en un rango de 200 a 10000 ppm en el ambiente, que tiene una salida analógica que permite medir el cambio progresivo en la concentración de gases y una salida digital cuyo umbral de detección puede ser ajustado. Es usado con frecuencia en equipos de detección de fugas de gas metano o gas LP en aplicaciones particulares o en la industria.

4) Sensor de presión

La presión contenida en el depósito del almacenamiento del biogás será monitoreada y controlada mediante el sensor de presión integrado absoluto MPX5700AP.

Éste posee una capacidad de medir de 15 a 700KPa, mediante conversiones programables en el código del programa en Arduino IDE, los valores reflejados podrán ser identificados en bares.

5) Bomba de vacío

La bomba de vacío se colocará fuera del biodigestor y ésta mediante una manguera que se conectará al biodigestor provocará el vacío una vez encendida.

La bomba de vacío también será accionada y controlada por el programa contenido en el sistema Arduino IDE. Es una mini bomba marca Sanher, modelo KPM27H-12B5.

El proveedor indica que trabaja en un flujo de aire sin carga: 3.2 l/min, que puede operar bajo una presión de 400 - 600 mmHg y genera un vacío: < -420 mmHg.

D. Sistema Arduino IDE

Los sensores serán programados con base al lenguaje de programación propio del sistema Arduino IDE en un programa fuente que considera las partes de cada uno y los integra en uno principal.

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar. Las placas Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje de Twitter) y convertirlas en una salida: activar un motor, encender un LED o publicar algo en línea. Se le puede decir a una placa qué hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador de la placa. Para ello se utiliza el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring), y el Software Arduino (IDE), basado en Processing.

A lo largo de los años, Arduino ha sido el cerebro de miles de proyectos, desde objetos cotidianos hasta complejos instrumentos científicos. Una comunidad mundial de creadores (estudiantes, aficionados, artistas, programadores y profesionales) se ha reunido en torno a esta plataforma de código abierto; sus contribuciones han sumado una increíble cantidad de conocimiento accesible que puede ser de gran ayuda tanto para principiantes como para expertos [7].

Para la utilización del sistema Arduino IDE se empleará una tarjeta Arduino UNO.

E. Sistema de agitación

El sistema también contará con un agitador mecánico, el agitador propuesto es un agitador de 2 palas y 2 capas, mismo que será impulsado por medio de un taladro alámbrico convencional, éste a su vez será controlado por un interruptor inteligente mediante el sistema Alexa

F. Almacenamiento del biogás

El gas producido será almacenado en un depósito de gases no convencional: una

cámara de llanta de 13" de diámetro de marca Galgo, modelo Radial F R-13, para el fácil traslado y manipulación de este.

A la cámara de llanta se le adecuará un segundo pivote de inflado, uno de ellos estará conectado a la línea del sistema de transporte del biogás (tuberías) y el otro pivote de inflado será dispuesto para el sensor de presión

G. Técnicas de análisis cuantitativo

El gas contenido en la cámara de llanta será analizado cuantitativamente utilizando técnicas espectroscópicas como IR y cromatografía de gases.

H. Purificación

Posterior a la producción del gas y estudio de los resultados obtenidos mediante la espectroscopía y cromatografía de gases se espera poder seleccionar un purificador del biogás obtenido utilizando columnas y/o filtros con óxidos metálicos como óxido de zinc (ZnO) y óxido de hierro (Fe₂O₃).

I. Productos esperados

Una vez que el biogás haya sido purificado, éste se utilizará como biocombustible en un quemador residencial.

Los residuos orgánicos del biodigestor: digestato, se propone que sean utilizados como abono para jardines domésticos.

El inicio de avances apertura con la presentación de la adaptación del recipiente a un biorreactor, realizando los maquinados previamente descritos, así como el montaje de las tuberías de CPVC en el biorreactor, tal como se muestra en la "Fig. 1".



Fig. 1. Biorreactor con tuberías de transporte de biogás de CPVC - Elaboración propia

Posterior a ello se realizó la construcción del sistema de transporte del biogás, mismo que lo dirigirá al depósito de almacenamiento. Así mismo, se adaptó la cámara de llanta para poder ser alimentada y monitoreada al mismo tiempo, estos fueron conectados al sistema de transporte tal como se observa en la “Fig. 2”.



Fig. 2. Biorreactor con tuberías de transporte de biogás de CPVC conectados a depósito de almacenamiento de biogás (cámara de llanta) - Elaboración propia

Como se argumenta en el sustento de este proyecto, se desarrolló en el software Arduino IDE un programa para monitorear digitalmente los parámetros que recomienda Varnero Moreno [6], tales como: temperatura, pH, producción de gas metano, presión en el depósito de almacenamiento, así como el funcionamiento de la bomba de vacío para generar el vacío inicial en el biorreactor, una vista parcial del programa la podemos apreciar en la “Fig. 3”.

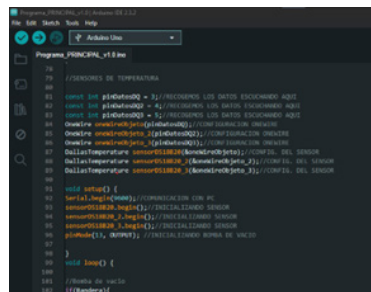


Fig. 3. Vista parcial del programa principal para producción de biogás a partir de residuos sólidos orgánicos domésticos para uso como combustible autosustentable en un quemador residencial - Elaboración propia

El programa si bien fue creado con el software Arduino IDE, vale la pena mencionar que fue creado inicialmente como programas independientes para realizar los ajustes, validaciones de funcionamiento y parametrizaciones a cero “Fig. 4 y 5”, posteriormente, los programas se unificaron y se ajustaron todos los parámetros para funcionar como un programa único y principal.

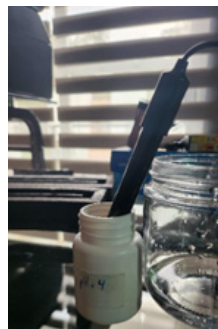


Fig. 4. Parametrización de sensor de pH con "búfer pH 4" - Elaboración propia

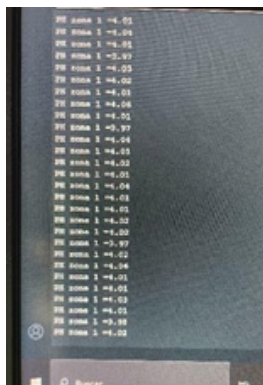


Fig. 5. Resultados digitales por segundo de la parametrización con "búfer pH 4" en el sistema Arduino IDE - Elaboración propia

La construcción del agitador de paletas fue realizada con pedacería y restos industriales de un taller de herrería industrial, como se muestra en la "Fig. 6".



Fig. 6. Construcción del agitador de paletas en taller de herrería - Elaboración propia

Finalmente se procedió a realizar la instrumentación del biodigestor con los sensores como se observa en "Fig. 7" y programa terminado, así como el ordenamiento de la electrónica en una placa de control "Fig. 8". Esto para poder dar inicio con las pruebas preliminares.

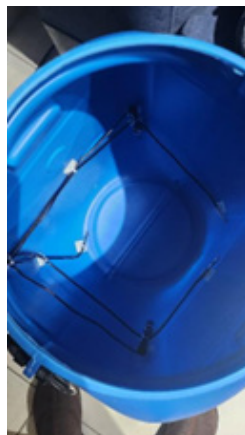


Fig. 7. Instrumentación de sensores de pH y de temperatura en biodigestor - Elaboración propia

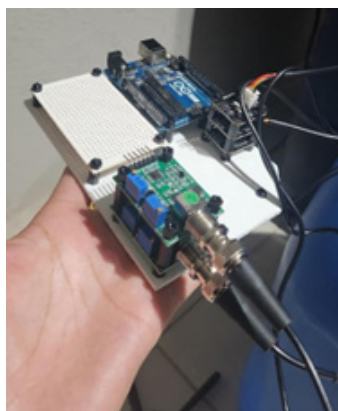


Fig. 8. Placa de control de la instrumentación de sensores en biodigestor - Elaboración propia

conclusiones

En este momento, ya se cuenta con el equipo y las condiciones para poder monitorear las cargas de biomasa y llevar a cabo la carga de las diferentes mezclas para producir biogás desde un hogar. Posterior a la producción del biogás, este deberá ser analizado cualitativamente para poder determinar sus características y evaluar su viabilidad para ser utilizado de manera doméstica.

Para determinar las mezclas a cargar en el biorreactor para producir biogás se considerarán aquellas que contengan una relación carbono/nitrógeno óptima, que debe tener el material “fresco o crudo” que se utilice para iniciar la digestión anaeróbica. Cuando no se tenga un residuo con una relación carbono/nitrógeno inicial apropiada, será necesario realizar mezclas de materias en las proporciones adecuadas para obtener la relación carbono/nitrógeno óptimas.

Los datos que arroje el presente estudio servirán para crear las curvas cinéticas del biorreactor a diferentes mezclas y cargas propuestas por la literatura y por los autores del presente. Así como para mejorar o proponer el diseño de un biorreactor a mediana escala para su uso cotidiano en una población más extensa.

Además, se busca contribuir con el abatimiento de la contaminación atmosférica por medio de la sustitución en parte del gas natural por biogás.

Declaración de no Conflicto de intereses

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún tipo de conflicto de interés.

Declaración de privacidad

Los datos de este artículo, así como los detalles técnicos para la realización del experimento, se pueden compartir a solicitud directa con el autor de correspondencia.

Los datos personales facilitados por los autores a rd-icuap se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

Agradecimientos

A los docentes y asesores de la academia de Biocombustibles por el apoyo brindado durante la formación académica.

Introduction

Currently, 80% of global energy demand is met using fossil fuels, according to data reported by the International Energy Agency (IEA). Recent studies have shown that energy demand will double by 2050. At the same time, greenhouse gas (GHG) concentrations in the atmosphere are growing at a rapid rate, with CO₂ emissions from fossil fuels being the main source of this increase. If trends in carbon emissions continue, they will far exceed the limit needed to keep global temperature rise below 2°C, leading to catastrophic climate consequences for the planet [1].

In this context, biogas generated from urban waste, livestock and agro-industrial waste will play a crucial role in the future. As a versatile renewable energy source, biogas can replace fossil fuels in power and heat generation, as well as serving as a gaseous fuel for vehicles. Methane-rich biogas (biomethane) can also replace natural gas as a feedstock in the production of chemicals and materials [2].

Biogas production has generated great interest in recent years, being one of the most accessible and easily implemented technologies, especially in rural areas. Biogas is not only limited to its use as a fuel, but also as a means of obtaining biofertilizers. This makes it a viable choice for application in regions with abundant waste organic matter.

Biogas is produced by the decomposition of organic matter. It is estimated that, on average, almost 50% of the solid waste generated daily in Puebla is organic matter, which represents an excellent opportunity to take advantage of and transform these materials into value-added products. This conversion not only helps to solve environmental pollution problems, but it is also an alternative to obtain energy and cover the fuel needs of homes, especially in rural areas of our country.

Development

In recent years, concern about the disposal of organic waste has increased in Mexico; About 76 million tons of waste are generated annually from agro-industrial

activities. The generation of this waste is considered one of the most important problems of environmental impact; however, there are different mechanisms for its use, one of them being the technology of anaerobic digestion to avoid its mismanagement, accumulation and avoid environmental contamination [3].

An alternative is the anaerobic digestion process, which consists of a process that involves the degradation of organic waste in the total absence of oxygen. In this process, combustible gas is generated, due to the elimination or organic purification caused by multiple microorganisms responsible for the decomposition of organic waste. In this way, the process will turn out to be optimal because the mixture between biomass and microbial population is considered a valuable source for biogas production [4].

It is proposed to carry out various biomass loads of different organic waste generated in domestic kitchens and deposit them in a Batch type biodigester / bioreactor with semi-continuous agitation hoping to obtain biogas (methane gas).

The quantitative analysis of the biogas produced, as well as the qualitative conditions of the reactor, will be monitored in a constant and automated way by the Arduino IDE computer program, this will provide data such as pH, temperature control in degrees Celsius, methane gas produced and quantified in parts per million (ppm) in the reactor, likewise, this program will control a vacuum pump to generate the initial vacuum required in the biodigester after its loading and also It will monitor the pressure in bars contained in the tank that will house the methane gas produced in the biodigester, these parameters will be measured with instrumented sensors throughout the production system (biodigester), transport and storage device.

The methane gas produced will be characterized and its quality will be determined, so that, if feasible, it can be used in burners for domestic use, such as: stoves, boxers and heating. The generation of such methane gas is expected to be cost-neutral or at least cheaper than the purchase of LP gas or natural gas, depending on the user's need.

Numerous studies have demonstrated the feasibility of producing biogas from diverse types of organic waste. For example, Kusch, Oechsner, and Jungbluth [5] evaluated biogas production from agricultural waste and manure, finding that co-digestion of these materials improves process efficiency.

A. Adaptation of the biodigester

It is proposed to adapt and reuse a 60-liter container of geometry defined by its designer to convert it into a Batch type biodigester (discontinuous or stationary regime), to produce biogas for domestic consumption, this system will be instrumented to monitor, measure and control parameters recommended by some authors such as Varnero Moreno [6]:

- Temperature
- pH
- Methane gas production
- Methane gas flow
- Pressure in the storage tank
- Initial vacuum generation

B. Biogas transport system (pipelines)

The biogas produced in the biodigester will be conducted by a system of chlorinated polyvinyl chloride (CPVC) pipes, which will be adapted to house a methane production sensor and a mechanical flowmeter which will indicate the volume of gas produced.

It is estimated that the pipes to be used are:

- 1m of 1" class C 4120 CPVC pipe.
- 1" Class C 4120 CPVC "T" connection.
- 1 x 1" Class C CPVC 4120 male thread connection.
- 1" CPVC 4120 Female Thread Connection Class C.
- 2 1" to 1/2" CPVC 4120 Class C step-down connections.

- 1m of 1/2" class C 4120 CPVC pipe.

- 2 x 90° connections of 4120 1/2" CPVC Class C.

- 5 x 1/2" Class C 4120 CPVC female connections.

- 3 x 1/2" Class C 4120 CPVC Male Connections.

- 1 x 1/2" ABS plastic male adapter connection to 1/2" hose.

- 1 x 1/2" bronze male adapter connection to 3/8" hose.

- 2 x 1/2" Class C CPVC 4120 "T" connections.

- 2 x 1/2" Class C 4120 CPVC ball valves.

- 1 x 1/2" Class C 4120 CPVC plug type connection.

- 1 Teflon tape of 20mm.

- 2 rubber gaskets of 1" internal and 4" external.

- 1.5m of 3/8" PVC hose reinforced with polyester.

C. Bioreactor instrumentation (sensors)

The control and monitoring of temperature (in degrees Celsius), pH, biogas production (methane gas) (in parts per million) in the bioreactor and pressure in the storage tank (in bars), will be monitored using the Arduino IDE software, for this various sensors will be used, these values will be reflected in real time and stored in the memory of a computer for subsequent analysis and generation of kinetic curves of the bioreactor. As well as the commissioning of a vacuum pump for a sole use per charge.

Temperature sensors and pH sensors will be placed inside the biodigester to monitor the mixture deposited in it.

The methane gas sensor will be placed on the pipes of the biogas transport system to detect it.

The pressure sensor will be installed in the biogas storage tank.

1) Temperature sensor

The temperature in degrees Celsius will be monitored by 3 DS18B20 sensors and a subcontroller. The manufacturer indicates that it is easy to connect and can be used in a variety of environments.

It has a measuring range: -55 ~ 125°C.

2) pH sensor

The pH will be monitored by 2 Hilitand-guom gaed8f322 Hilitand brand sensors.

The manufacturer indicates that the pH test value of the sensor module probe is very wide, the measurement range is 0 - 14 pH, and the test temperature is 0° - 80° Celsius.

3) Methane Gas Sensor

The production of methane gas will be detected by increasing its presence in the environment by units of parts per million (ppm), through an MQ4 methane sensor module for Arduino.

The supplier indicates that the MQ-4 methane gas detector is an electrochemical sensor that varies its resistance when in contact with methane gas / natural gas and LP gas, its module contains an electronic circuit that allows it to make the connection with a development board and has analog and digital outputs.

It is ideal for applications seeking to detect or measure the concentration of methane gas (CH₄) in the range of 200 to 10000 ppm in the environment, which has an analog output that allows the progressive change in gas concentration to be measured and a digital output whose detection threshold can be adjusted. It is frequently used in methane gas or LP gas leak detection equipment in private applications or in industry.

4) Pressure Sensor

The pressure contained in the biogas storage tank will be monitored and controlled by the absolute integrated pressure

sensor MPX5700AP.

It has a capacity to measure from 15 to 700KPa, through programmable conversions in the program code in Arduino IDE, the reflected values can be identified in bars.

5) Vacuum pump

The vacuum pump will be placed outside the biodigester, and this will cause the vacuum once switched on by means of a hose that will be connected to the biodigester.

The vacuum pump will also be driven and controlled by the program contained in the Arduino IDE system. It is a Sanher mini pump, model KPM27H-12B5.

The supplier indicates that it works in a no-load air flow - 3.2 l/min, which can operate under a pressure of 400 - 600 mmHg and generates a vacuum - < -420 mmHg.

D. Arduino IDE System

The sensors will be programmed based on the programming language of the Arduino IDE system in a source program that considers the parts of each one and integrates them into a main one.

Arduino is an open-source electronic platform based on easy-to-use hardware and software. Arduino boards can read inputs (light on a sensor, a finger on a button, or a Twitter message) and turn them into an output: activate a motor, turn on an LED, or post something online. A board can be told what to do by sending a set of instructions to the board's microcontroller. To do this, the Arduino programming language (based on Wiring), and the Arduino Software (IDE), based on Processing, are used.

Over the years, Arduino has been the brains behind thousands of projects, from everyday objects to complex scientific instruments. A worldwide community of creators (students, hobbyists, artists, programmers, and professionals) has gathered around this open-source platform; Their contributions have added up to an incredible amount of accessible knowledge that can be of significant help to both beginners and experts [7].

An Arduino UNO card will be used to use the Arduino IDE system.

E. Stirring System

The system will also have a mechanical agitator, the proposed agitator is a 2-blade, 2-layer agitator, which will be driven by means of a conventional wired drill, which in turn will be controlled by a smart switch through the Alexa system.

F. Biogas storage

The gas produced will be stored in an unconventional gas tank: a 13" diameter tire tube of the Galgo brand, model Radial F R-13, for easy transport and handling.

A second inflation pivot will be fitted to the tire tube, one of them will be connected to the line of the biogas transport system (pipes) and the other inflation pivot will be arranged for the pressure sensor.

G. Quantitative analysis techniques

The gas contained in the rim tube will be quantitatively analyzed using spectroscopic techniques such as IR and gas chromatography.

H. Purification

After the production of the gas and study of the results obtained by gas spectroscopy and chromatography, it is expected to be able to select a purifier of the biogas obtained using columns and/or filters with metal oxides such as zinc oxide (ZnO) and iron oxide (Fe_2O_3).

I. Expected outputs

Once the biogas has been purified, it will be used as biofuel in a residential burner.

The organic waste from the biodigester: digestate, is proposed to be used as fertilizer for domestic gardens.

The opening of the opening advances with the presentation of the adaptation of the vessel to a bioreactor, conducting the machining previously described, as well

as the assembly of the CPVC pipes in the bioreactor, as shown in "Fig. 1".



Fig. 1. Bioreactor with CPVC biogas transport pipes - Own elaboration.

After that, the construction of the biogas transport system was conducted, which will direct it to the storage tank. Likewise, the tire tube was adapted to be powered and monitored at the same time, these were connected to the transport system as seen in "Fig. 2".



Fig. 2. Bioreactor with CPVC biogas transport pipes connected to biogas storage tank (rim chamber) - Own elaboration.

As argued in the support of this project, a program was developed in the Arduino IDE software to digitally monitor the parameters recommended by Varnero Moreno [6], such as: temperature, pH, methane gas production, pressure in the storage tank, as well as the operation of the vacuum pump to generate the initial vacuum in the bioreactor. a partial view of the program can be seen in "Fig. 3".

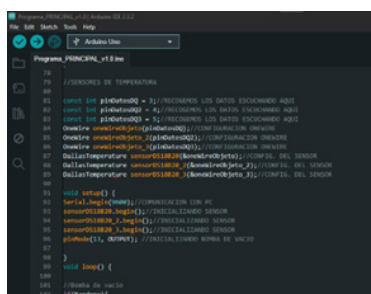


Fig. 3. Partial view of the main program to produce biogas from domestic organic solid waste for use as a self-sustaining fuel in a residential burner - Own elaboration.

The program, although it was created with the Arduino IDE software, it is worth mentioning that it was initially created as independent programs to perform the adjustments, operating validations and parameterizations to zero "Fig. 4 and 5", later, the programs were unified, and all the parameters were adjusted to function as a single and main program.

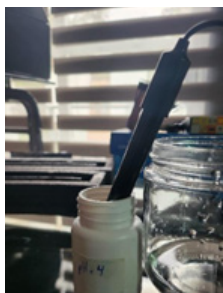


Fig. 4. Parameterization of pH sensor with "pH 4 buffer" - Own elaboration

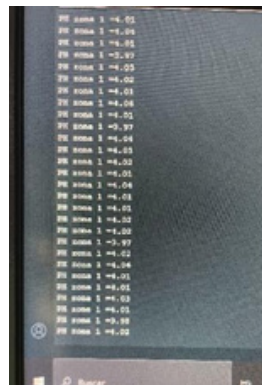


Fig. 5. Digital results per second of parameterization with "pH 4 buffer" in the Arduino IDE system - Own elaboration

The construction of the paddle agitator was made with scraps and industrial remains from an industrial blacksmithing workshop, as shown in "Fig. 6".



Fig. 6. Construction of the paddle agitator in a blacksmith workshop - Own elaboration

Finally, the biodigester was instrumented with the sensors as seen in "Fig. 7" and finished program, as well as the ordering of the electronics on a control board "Fig. 8". This to be able to start with the preliminary tests.

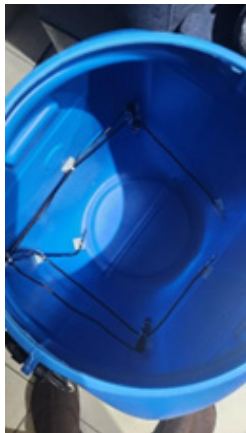


Fig. 7. Instrumentation of pH and temperature sensors in biogestor - Own elaboration.



Fig. 8. Control board for sensor instrumentation in biogestor - Own elaboration.

Conclusions

Currently, the equipment and conditions are already in place to be able to monitor biomass loads and conduct the loading of the different mixtures to produce biogas from a home. After the production of the biogas, it must be analyzed qualitatively to determine its characteristics and evaluate its viability to be used domestically.

To determine the mixtures to be loaded into the bioreactor to produce biogas, those containing an optimal carbon/nitrogen ratio will be considered, which must be in the "fresh or raw" material used to initiate anaerobic digestion. Where there is no residue with an appropriate initial carbon/nitrogen ratio, mixtures of materials in the appropriate proportions will be necessary to obtain the optimum carbon/nitrogen ratio.

The data provided by the present study will be used to create the kinetic curves of the bioreactor at different mixtures and loads proposed by the literature and by the authors of the present study. As well as to improve or propose the design of a medium-scale bioreactor for daily use in a larger population.

In addition, it seeks to contribute to the reduction of air pollution through the substitution of biogas in part for natural gas.

Referencias

- [1] S. Foster, «Crónica ONU,» [En línea]. Available: <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>.
- [2] P. Weiland, «Producción de biogás: estado actual y perspectivas,» de *Appl Microbiol Biotechnol* 85, 2010, pp. 849 - 860.
- [3] S. N. I. P. R. & M. L. Suhartini, «Estimation of biogas production and the emission savings from anaerobic digestion of fruit-based agro-industrial waste and agricultural crops residues,» *Bio-Energy Research*, pp. 844-859, 2020.
- [4] X. Flotats, E. Campos, J. Palatsi y A. Bonmatí, «Digestión anaerobia de purines de cerdo y codigestión con residuos de la industria alimentaria,» de *Digestión anaerobia de purines de cerdo y codigestión con residuos de la industria alimentaria*, Monografías de actualidad, 2001, p. 65.
- [5] S. Kusch, H. Oechsner y T. Jungbluth, «Effect of various leachate recirculation strategies on batch anaerobic digestion of solid substrates,» *International Journal of Environment and Waste Management*, pp. Vol. 9, No. 1-2, 2011.
- [6] M. T. Varnero Moreno, *Manual de Biogás*, Santiago de Chile: Ministerio de energía, Gobierno de Chile, 2011.
- [7] Arduino, «About Arduino,» 5 02 2018. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.