



DISEÑO DE PROTOTIPO PARA LA MEDICIÓN DE POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RSO DE LA PLAZA DE MERCADO DE FUSAGASUGÁ MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA

Jair A. Ortiz A, Diego A. Sepúlveda D., Bayronx H. Murillo P., Andrés F. Guerrero G., Rubiela Bello R.

**Universidad de Cundinamarca
Fusagasugá, Colombia**

Resumen

En este documento se analizarán los parámetros que intervienen en la digestión anaeróbica, con el fin de usar este método para aprovechar la concentración energética contenida en los desechos producidos por plazas de mercado. Este análisis se hace necesario debido a que la alta producción de desechos orgánicos genera niveles de contaminación preocupantes, además dentro de los desechos producidos se encuentran residuos sólidos orgánicos (RSO). Con la información obtenida se diseña e implementa un biodigestor a escala con capacidad de 50 Litros aplicando un control que genere las mejores condiciones para la producción de biogás mediante el uso de RSO y lodos activos.

Palabras clave: digestión anaeróbica; temperatura; biodigestor

Abstract

This document will analyze the parameters involved in anaerobic digestion, to use this method to take advantage of the energy concentration contained in the waste produced by marketplaces. This analysis is necessary because the high production of organic waste generates worrying levels of contamination, in addition to the waste produced there is organic solid waste (RSO). With the information obtained, a scale biodigester with a capacity of 50 liters is designed and implemented,

applying a control that generates the best conditions for biogas production using RSO and activated sludge.

Keywords: *anaerobic digestion; temperature; biodigester*

1. Introducción

La alta tasa de producción de desechos orgánicos en las plazas de mercado genera niveles de contaminación preocupantes. Dentro de los desechos producidos se encuentran residuos sólidos orgánicos (RSO), los cuales contienen una alta concentración energética que puede ser aprovechada para su conversión en otro tipo de energía como la eléctrica, dentro de los métodos de producción de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de RSO se encuentra la biodigestión anaerobia. Este proceso consiste en alimentar bacterias anaerobias con RSO, estas bacterias producen biogás rico en metano que a su vez se inyecta a un generador para producir energía eléctrica (Núñez, 2017).

En la Universidad de Cundinamarca apoyado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación MinCiencias, se está realizando un proyecto el cual consiste en el diseño, desarrollo e implementación de un prototipo de biodigester que permita aprovechar los RSO de la plaza de mercado de Fusagasugá. Para el desarrollo se hace necesario una investigación exhaustiva en cuanto al funcionamiento de un biodigester de tipo continuo.

En este trabajo se realiza una revisión bibliográfica con el fin de determinar las variables que tienen mayor inferencia en el proceso, así mismo establecer el rango de estas variables dentro de las cuales se obtendrá una mayor producción de biogás. Dentro de las bases de datos consultadas e información suministrada por diferentes autores y en datos experimentales se logra evidenciar que los parámetros que más influyen son pH, temperatura y agitación. También se halló y probó que debido a la relación aplicada entre bacterias y residuos sólidos se ve afectado el nivel de producción.

Con base en los resultados obtenidos en la revisión y en el experimento se implementa un prototipo a escala del biorreactor con una capacidad de 50 litros para la fase II del proyecto con el fin de medir el potencial de producción de biogás. Con los parámetros definidos se seleccionan los actuadores y sensores de tipo comercial, además se determinan las medidas del prototipo de biorreactor tipo tanque para la capacidad establecida, también el sistema con el que se garantizará un control a la temperatura y a la agitación.

2. Metodología

Para la realización de este trabajo se dividió el proceso en 5 fases, que se muestran en la Figura 1.



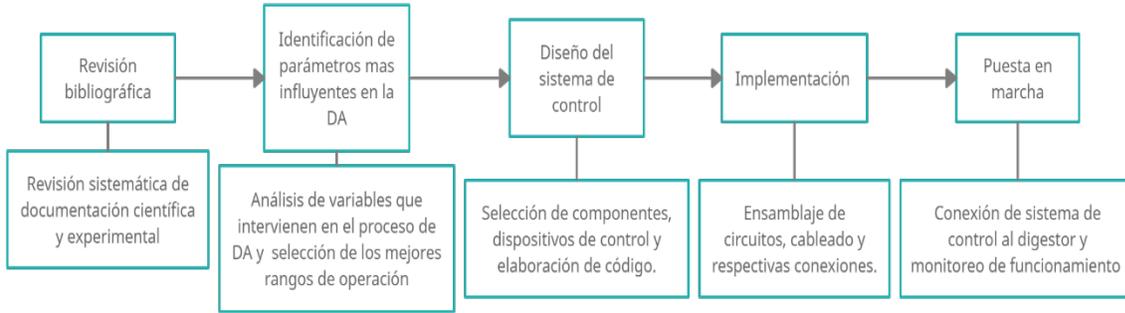


Figura 1. Fases de trabajo.

Inicialmente se realizó una revisión bibliográfica de manera sistemática para encontrar los parámetros que influyen en el funcionamiento de biodigestores continuos, se tuvo en cuenta documentación de carácter explicativo y experimental, con el fin de identificar los parámetros más influyentes y analizar las variables que se puedan monitorear y controlar para una óptima producción de biogás.

La revisión arrojó parámetros y variables en común entre los diferentes autores, de los cuales se da la selección de los parámetros que cumplan con la finalidad del trabajo. Luego de establecer las variables a controlar, se analizaron los valores que proporcionarían una mayor producción de biogás, para esto se observaron datos experimentales que muestran sus respectivos niveles de producción.

Con las variables a controlar, sus respectivos valores y rangos de operación para un mayor nivel de producción, se realiza una búsqueda y selección de los sensores, actuadores y controladores comerciales que cumplan con los requerimientos para el diseño de un sistema de control que proporcione un nivel de producción cercano al arrojado por la búsqueda bibliográfica, además de seleccionar las características necesarias para un tanque con capacidad de 50 Litros en el que deben ir instalados los sensores y actuadores.

Finalmente se diseña e implementa el sistema con el que se llevara a cabo el control de las variables, para posteriormente poner en marcha el biodigestor de manera controlada y realizar una serie de pruebas verificando el funcionamiento de este y posibles fallas que puedan presentarse.

3. Identificación de parámetros más influyentes en el proceso de digestión anaeróbica

El proceso de digestión anaeróbica (DA) se efectúa mediante un grupo de reacciones biológicas que transforman materia orgánica en biogás (metano y dióxido de carbono), mediante la descomposición realizada por microorganismos sensibles al oxígeno (Núñez, 2017). Este proceso se realiza en 4 etapas sucesivas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, todo el proceso se puede analizar de manera experimental en biorreactores tipo batch, logrando observar



el comportamiento que efectúa cada sustrato y cada inóculo aplicando varias condiciones a las que se pueden someter (Cárdenas Cleves et al., 2016).

Asimismo, basados en la búsqueda bibliográfica se logran identificar las variables más influyentes en la DA, descritos a continuación en la Tabla 1:

Sustrato	Es la composición nutricional encargada de alimentar el biodigestor (Acosta & Abreu, 2005)(Nwokolo et al., 2020). Dentro de los sustratos se encuentran los residuos de animales, residuos frutales y/o vegetales (Reyes Aguilera, 2018).
Inóculo	Son los organismos degradadores que se agregan al sustrato que estará en el biodigestor, dependiendo del inóculo los tiempos de producción de metano se reducen o se incrementan (Nakasima-López et al., 2017). Las fuentes de inóculo más comunes son los lodos (anaeróbicos, industriales y granulares), rumen y heces de animales.
Temperatura	Es uno de los parámetros con mayor influencia en la DA, debido a que afecta el metabolismo de los microorganismos (Ramón V et al., 2011). Los rangos de temperatura que presentan una mejor DA son el mesofílico (35-37°C) y el termofílico (55-65°C) (Shin et al., 2019).
Agitación	Es la encargada de otorgar homogeneidad a la mezcla, la cual está compuesta por la relación sustrato/inóculo elegida para la DA, este factor logra una distribución de la temperatura. Una pérdida de agitación ocasionaría una mala transferencia de calor lo que a su vez disminuye la eficiencia del proceso (Ramón V et al., 2011).
pH	El valor de pH para el proceso de DA oscila entre 7 y 8 unidades, con este rango se garantiza la actividad metabólica de los microorganismos (Cárdenas Cleves et al., 2016). Para realizar ajustes de pH se agregan agentes alcalinizantes, entre los cuales los más usados son las sales de sodio (Cárdenas Cleves et al., 2016).
Tiempo de Retención	Es el tiempo para que se lleve a cabo la descomposición de la materia prima, y el crecimiento microbiano (Mahmudul et al., 2021). Este tiempo está relacionado con la temperatura del ambiente, algunos autores estiman un tiempo entre 10 a 40 días para una ambiente mesofílico y menos de 10 días para uno termofílico (González Salcedo & Olaya Arboleda, 2012).

Tabla 1. Parámetros influyentes en la DA.

4. Diseño e implementación de sistema de control

Basado en los resultados arrojados por la documentación consultada se hace necesario el uso de un tanque fabricado en acero inoxidable debido a que será sometido a un ambiente húmedo y corrosivo, además de soportar una presión. Para la agitación se puede trabajar de manera mecánica con el uso de un motor acoplado a un eje con aspas en su extremo inferior y finalmente para la temperatura es recomendable usar un sistema interno que distribuya el calor de manera homogénea.

En la universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá se cuenta con un tanque (Figura 2, área azul) que cuenta con la mayoría de los requerimientos de diseño mencionados previamente. como la capacidad, material de fabricación, además cuenta con una tapa metálica que puede ser ajustada con tornillos para obtener un sellado sin fugas. Sobre la tapa se ubica un motor DC conectado a una hélice de tres aspas que permite el mezclado del contenido. Este tanque también



cuenta con varias conexiones metálicas que pueden ser usadas para mediciones o extracciones del contenido líquido o gaseoso. Internamente cuenta con un tubo de forma helicoidal, a través de este tubo se puede recircular líquido sin mezclarlo con el contenido interno, dando el propósito de transmitir la temperatura del líquido recirculante al contenido almacenado en el tanque.

Teniendo en cuenta las características descritas en el párrafo anterior, se determina que cuenta con los parámetros necesarios para usarlo en el proceso de DA. Luego de la selección del sustrato, el inóculo, la temperatura adecuada y el tipo de agitación, se procede a analizar el acondicionamiento del tanque descrito anteriormente para controlar el nivel de producción con estos datos.

En cuanto al sistema de agitación como se mencionó antes, se cuenta con un motor ensamblado a la tapa, el cual puede ser alimentado con hasta 24V DC. Para garantizar la homogeneidad sugerida en la búsqueda bibliográfica se caracteriza el motor relacionando velocidad y voltaje de alimentación. Este valor estará determinado por la fuente de alimentación, para lo cual se elige una fuente de poder de 750W, encargada de alimentar todo el sistema.

Para el sistema de temperatura, se aprovecha el tubo helicoidal mencionado anteriormente, en este sistema se planea acoplar un contenedor en el cual se controlará la temperatura del líquido que circulará por la espiral (Figura 2, área roja.). Dentro del contenedor se instala una resistencia térmica y un sensor resistivo ntc de temperatura, la energía suministrada a la resistencia se regula mediante un relé de estado sólido y se controla por un Arduino, que se encargará de aplicar un control, el cual se torna sencillo de programar gracias a la interfaz IDE Arduino, este controlador estará alimentado por la salida de 5 V de la fuente de poder.

Además del contenedor, es necesario un sistema de bombeo (Figura 2, área verde) que puede estar conformado por una bomba de circulación y un motor que la impulse. Para esto, se debe adaptar una bomba de recirculación de aceite de vehículo debido a que se elige aceite mineral como líquido recirculante, este aceite presenta bajo nivel de evaporación comparado con el agua. El motor encargado de impulsar la bomba debe ser pequeño y fácil de acoplar, por esto se elige un motor universal a 100 W de potencia, este cuenta con un eje de 5 mm y la bomba un eje de 10 mm, su unión debe ser fija para no provocar daño en alguna de las 2 partes. Además, es necesario aplica un Dimmer con el fin de proteger el motor de un arranque brusco.

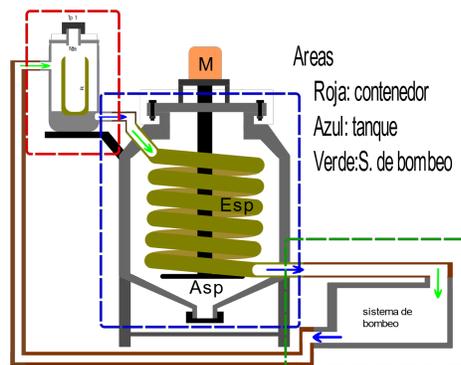


Figura 2. Sistema completo.



Finalmente, se realizan las conexiones desde el tubo inferior del tanque hacia el sistema de bombeo, luego hacia el contenedor y del contenedor al tubo superior del tanque cerrando así el sistema, como se muestra en la Figura 2. Las conexiones se realizan usando manguera de tipo especial, esta posee la capacidad de soportar hasta 100°C, gracias a que cuenta con un recubrimiento metálico.

Se requiere de un sensor de temperatura en el interior del tanque, se elige el sensor PT100 debido a que está diseñado para altas temperaturas, ambientes húmedos y corrosivos, además de contar con un roscado que facilita la instalación en el tanque. Usando los datos de ambos sensores de temperatura (PT100 y ntc) se plantea el control ON-OFF encargado de regular el nivel de temperatura del aceite recirculante, teniendo en cuenta la temperatura de la mezcla dentro del tanque.

El control ON-OFF se implementa en una tarjeta de desarrollo Arduino UNO, teniendo en cuenta los tiempos de estabilización de la temperatura en el contenedor, se asignan períodos de apertura y cierre del relé de estado sólido. En la Figura 3 se presenta el diagrama de flujo del algoritmo de control implementado.

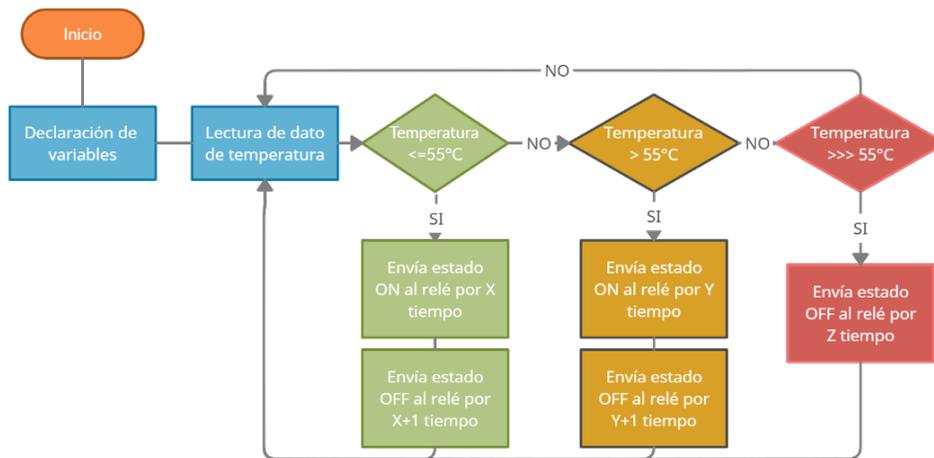


Figura 3. Diagrama de proceso código de control.

Los tiempos de activación del relé se incrementan de manera escalonada y progresiva para prevenir una elevación brusca de la temperatura y por consiguiente de presión del sistema generando fugas, en caso de reportarse una temperatura muy elevada ya sea en el contenedor o en el tanque, el controlador apagará el sistema por un tiempo prolongado.

5. Puesta en marcha

Una vez realizada la implementación, se realiza una revisión de las conexiones entre el tanque, contenedor y sistema de bombeo con las mangueras en busca de posibles fugas, también se asegura la alimentación suministrada por la fuente de poder para evitar fallos en el control. Finalmente se ingresa el sustrato (lodos) y el inoculo (RSO) al tanque para luego sellarlo. Seguido de esto, se da alimentación al sistema de control, dando inicio al proceso de DA.





Figura 4. Ensamble y puesta en marcha.

6. Conclusiones

En este trabajo se logro diseñar e implementar un biodigestor a escala para la producción de biogás, aplicando un control que otorgue las condiciones evidenciadas por diferentes autores para la DA, mediante el uso de RSO provenientes de la plaza de mercado de Fusagasugá como sustrato y lodos anaeróbicos como inóculo.

El parámetro más influyente en el proceso de DA es la temperatura debido a que si esta presenta una variación, se puede efectuar un cambio en el nivel de producción además de ser la responsable del ciclo de vida de los microorganismos encargados de producir metano.

Fue posible implementar el sistema de control ON-OFF de manera escalonada, esto permitió prevenir una elevación prolongada de la temperatura, logrando proteger el sistema de recirculación de una elevación de la presión interna, prolongando así su vida útil.

7. Referencias

- Acosta, Y. L., & Abreu, M. C. O. (2005). La Digestión Anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *Icidca*, 39(1), 35–48.
- Cárdenas Cleves, L. M., Parra Orobio, B. A., Torres Lozada, P., & Vásquez Franco, C. H. (2016). Perspectivas del ensayo de Potencial Bioquímico de Metano - PBM para el control del proceso de digestión anaerobia de residuos. *Revista ION*, 29(1), 95–108. <https://doi.org/10.18273/revion.v29n1-2016008>
- González Salcedo, L. O., & Olaya Arboleda, Y. (2012). *Fundamentos para el diseño de Biodigestores*. 32. <http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/>
- Mahmudul, H. M., Rasul, M. G., Akbar, D., Narayanan, R., & Mofijur, M. (2021). A comprehensive review of the recent development and challenges of a solar-assisted biodigester system. *Science of the Total Environment*, 753. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141920>
- Nakasima-López, M., Taboada-González, P., Aguilar-Virgen, Q., & Velázquez-Limón, N. (2017). Adaptación de Inóculos Durante el Arranque de la Digestión Anaerobia con Residuos Sólidos Orgánicos. *Informacion Tecnologica*, 28(1), 199–208. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000100020>
- Núñez, L. (2017). Modelamiento y control de proceso de digestión anaerobia para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos y/o aguas residuales. *Universidad de Piura*. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2986>



- Nwokolo, N., Mukumba, P., Obileke, K., & Enebe, M. (2020). Waste to energy: A focus on the impact of substrate type in biogas production. *Processes*, 8(10), 1–21. <https://doi.org/10.3390/pr8101224>
- Ramón V, J. A., Ramón V, B., & Carrillo S, E. Y. (2011). Design of a Monitoring and Control Multivariable System Through a Scada System For Separate Plant Phase Anaerobic Biodigestion. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(17), 32–39.
- Reyes Aguilera, E. A. (2018). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, 24, 60–81. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i24.5552>
- Shin, J., Jang, H. M., Shin, S. G., & Kim, Y. M. (2019). Thermophilic anaerobic digestion: Effect of start-up strategies on performance and microbial community. *Science of the Total Environment*, 687, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.428>

Sobre los autores

- **Jair Alberto Ortiz Arévalo:** Auxiliar de investigación proyecto “Prototipo de sistemas de generación de energía eléctrica a partir de residuos sólidos orgánicos de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá”, estudiante Universidad de Cundinamarca. jairaortiz@ucundinamarca.edu.co
- **Diego Alexander Sepúlveda Díaz:** Auxiliar de investigación proyecto “Prototipo de sistemas de generación de energía eléctrica a partir de residuos sólidos orgánicos de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá”, estudiante Universidad de Cundinamarca. dasepulveda@ucundinamarca.edu.co
- **Bayrhonx Hellcenk Murillo Padilla:** Auxiliar de investigación proyecto “Prototipo de sistemas de generación de energía eléctrica a partir de residuos sólidos orgánicos de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá”, estudiante Universidad de Cundinamarca. bhmurillo@ucundinamarca.edu.co
- **Andrés Felipe Guerrero Guerrero:** Ingeniero Electrónico, Magíster en Ingeniería – Automatización Industrial y Doctor en Ingeniería – Automática de la Universidad Nacional de Colombia. Profesor asistente del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Cundinamarca. afguerrero@ucundinamarca.edu.co
- **Rubiela Bello Rodríguez:** Ingeniero Electrónico de la Universidad de Cundinamarca, Magíster en Gerencia de Proyectos de la Universidad Tecnológica de Bolívar. Docente tiempo completo del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Cundinamarca. rbello@ucundinamarca.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

