



**NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:  
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO**

**13 - 16**  
DE SEPTIEMBRE

**2022**

CARTAGENA DE INDIAS,  
COLOMBIA



Encuentro Internacional de  
Educación en Ingeniería ACOFI

# **Sistema de calentamiento por inducción para biodigestores anaeróbicos a escala**

**Niyiret Dayanna Martínez Sabogal, Santiago Pérez Hincapié, Andrés Felipe Guerrero Guerrero, Edwin Palacios Yepes**

**Universidad de Cundinamarca  
Fusagasugá, Colombia**

## **Resumen**

Los sistemas de calentamiento por inducción electromagnética y por resistencia eléctrica se han utilizado en diferentes tipos de tratamientos térmicos como la siderurgia, el forjado, la fundición, entre otras. Actualmente, estos sistemas tienen aplicaciones tanto en la industria como en los hogares, realizando actividades similares, pero a diferentes escalas. De acuerdo con diferentes autores, el calentamiento por inducción electromagnética proporciona una mayor eficiencia energética, cortos tiempos de calentamiento, bajo impacto ambiental y productividad máxima.

En este artículo se muestra el desarrollo de un sistema de calentamiento por inducción para mejorar el proceso de biodigestión de un reactor anaeróbico, con el fin de aumentar los niveles de producción de biogás. De esta manera, al implementar una tecnología de calentamiento ecológico y eficiente se mitiga la contaminación por emisión de gases de efecto invernadero y se eliminan problemas e inconsistencias derivadas de llamas y otras técnicas.

Para lograr el objetivo planteado se compararon los resultados recolectados de pruebas a escala realizadas con los sistemas de calentamiento por resistencia eléctrica e inducción electromagnética, midiendo la eficiencia y el consumo eléctrico con respecto al tiempo y la temperatura de funcionamiento que requiere un biodigestor para la producción de biogás. De la misma manera se tuvo en cuenta el comportamiento de los distintos materiales utilizados en la implementación del contenedor del líquido a calentar, como el acero y el cobre que fueron seleccionados por sus propiedades térmicas (calor específico) y ferromagnéticas, considerando geometrías como el intercambiador de calor de serpentín adecuado para elevar los coeficientes de transferencia de calor.

Mediante la implementación de un intercambiador de calor de serpentín se circuló aceite mineral USP calentado con los dos sistemas de calefacción mencionados. Las temperaturas en el contenedor del líquido a calentar fueron superiores dentro del mismo rango de tiempo con el sistema por inducción electromagnética respecto al sistema por resistencia eléctrica. La potencia requerida para alcanzar los 55°C en los dos sistemas de calefacción fue, 0.180 kWh para el calentamiento por inducción en 26' 36'' y 0.318 kWh para el calentamiento por resistencia en 35' 40''.

**Palabras clave:** calentamiento por inducción; calentamiento por resistencia eléctrica; reactor anaeróbico; intercambiador de calor

### **Abstract**

*Electromagnetic induction and electrical resistance heating systems have been used in different types of heat treatments such as steel making, forging, smelting, among others. Currently, these systems have applications in industry as in homes, performing similar activities, but at different scales. According to different authors, electromagnetic induction heating provides greater energy efficiency, short heating times, low environmental impact, and maximum productivity.*

*This article shows the development of an induction heating system to improve the biodigestion process of an anaerobic reactor, in order to increase the levels of biogas production. In this way, by implementing an ecological and efficient heating technology, greenhouse gas emissions pollution is mitigated, and problems and inconsistencies derived from flames and other techniques are eliminated.*

*In order to achieve the stated objective, the results collected from scale tests carried out the heating systems by electrical resistance and electromagnetic induction were compared, measuring the efficiency and electricity consumption with respect to the time and operating temperature that a biodigester requires for biogas production. In the same way, the behavior of different materials used in the implementation of the container of the liquid to be heated was taken into account, such as steel and copper that were selected for their thermal (specific heat) and ferromagnetic properties, considering geometries such as the coil heat exchanger suitable to raise the heat transfer coefficients.*

*By means of the implementation of a coil heat exchanger, USP mineral oil heated with the two mentioned heating systems was circulated. The temperatures in the container of the liquid to be heated were higher within the same time range with the electromagnetic induction system with respect to the electrical resistance system. The power required to reach 55°C in the two heating systems was, 0.180 kWh for induction heating in 26' 36'' and 0.318 kWh for resistance heating in 35' 40''.*

**Keywords:** induction heating; electrical resistance heating; anaerobic reactor; heat exchanger



## 1. Introducción

En la actualidad la temperatura a nivel global ha aumentado 1.2 grados Celsius desde 1845, afectando diferentes ecosistemas, esto debido al incremento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Shukman, 2021), producido por distintos sectores industriales, como el sector agrícola y pecuario, que en su proceso de producción y comercialización generan residuos sólidos orgánicos que al descomponerse emiten dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y metano (CH<sub>4</sub>) (Benavides, 2007).

En el año 2018, se registraron en Colombia alrededor de 11.305.133 toneladas de residuos sólidos orgánicos (RS) (Gutiérrez, 2020) por parte del sector agrícola, generando gases de efecto invernadero y lixiviados que contaminan los suelos y las aguas superficiales o subterráneas (Rodríguez, 2021) la disposición de 1.3 toneladas de residuos genera 21 moles de dióxido de carbono durante su vida útil y posteriormente durante su abandono. También es importante mencionar que el 61,5% de los RS del país se origina en las grandes ciudades (Gutiérrez, 2020) como Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla, siendo los principales centros de comercialización los focos que aportan a la generación de residuos sólidos orgánicos.

En la principal central de abastos de Colombia (Corabastos) en el 2020 se comercializaron alrededor de 5.274.900 toneladas de alimentos, entre ellas se estima que generaron 44.502 toneladas de RS, de las cuales se aprovecharon 30.441 toneladas para la alimentación de bovinos y composteras y, otras 14.061 toneladas de residuos fueron enterradas en los rellenos sanitarios (Corabastos, 2021).

Al igual que en el sector agrícola, el sector pecuario genera residuos sólidos, siendo el estiércol de los animales el principal residuo generado. Los principales generadores de este tipo de material en el sector pecuario son las actividades de crianza de bovinos y cerdos. En un censo pecuario nacional realizado en el 2020 por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) se cuenta con 6.710.666 porcinos (Unidad de Gestión de Riesgos Agropecuarios - UGRA, 2020), los cuales generan grandes cantidades de gases de efecto invernadero a causa de sus excrementos. Al respecto se tienen registros de que una tonelada de estiércol de cerdo contiene 250 kg de materia orgánica, 5 kg de nitrógeno y 2,5 kg de ácido fosfórico (Cuaran, 2017).

A la ganadería se le atribuye un 15% de las emisiones de gases de efecto invernadero (Gerbert, 2013), principalmente a causa de las emisiones de metano y óxido nitroso generados por el estiércol y la fermentación entérica de los rumiantes. Según el censo realizado por el ICA, la población bovina en Colombia es de 29.301.392 animales, por lo tanto, representa un crecimiento del 4,7% en comparación con el 2021.

Lo anterior, abre paso a nuevas alternativas de transformación de energía a partir de los residuos que pueden ser utilizados como recursos energéticos, estos residuos se consideran biomásas aprovechables para la generación de biogás mediante procesos anaeróbicos. El biogás se genera a partir de la descomposición de los residuos sólidos orgánicos mediante la reacción natural de los microorganismos, que deberán de estar en un ambiente con un rango de temperatura de 35°C - 37°C en el caso de los microorganismos mesofílicos y una temperatura de 55°C - 65°C para los



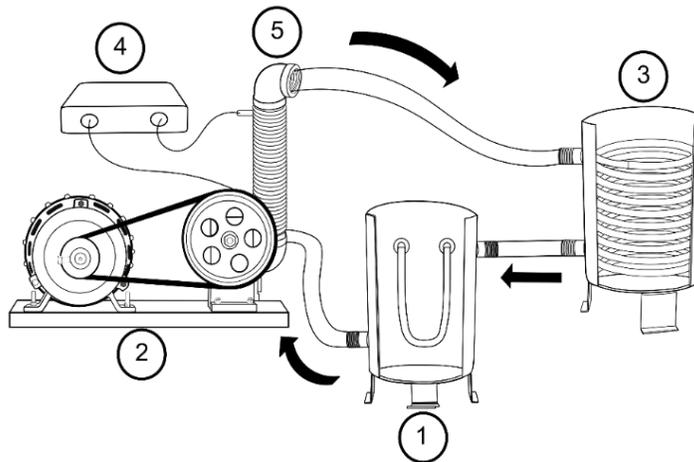
organismos termofílicos (Ortiz, 2021), de esta manera mejora el ritmo de descomposición de los sustratos incrementando los niveles de biogás (metano y dióxido de carbono) en el reactor.

Por esta razón en este artículo, se presentan dos sistemas de calefacción el de resistencia eléctrica e inducción electromagnética, con el fin de determinar el sistema con mayor rendimiento para utilizar en la regulación de temperatura que permita mejorar el proceso de biodigestión de un reactor anaeróbico.

## 2. Descripción del sistema de calentamiento implementado

El objetivo del prototipo implementado es comparar dos sistemas de calefacción en una aplicación de transferencia de calor al sustrato contenido en un biodigestor anaeróbico a escala. El esquema del prototipo implementado se muestra en la Figura 1. El prototipo de calefacción desarrollado está compuesto por cinco fases, la primera fase consta de un recipiente de almacenamiento de aceite mineral USP y a su vez contiene en su interior una resistencia eléctrica de calefacción, la segunda fase consta de un motor de inducción y una bomba centrífuga de aceite, la tercera fase es un recipiente de almacenamiento de las muestras e incorpora un intercambiador de calor de serpentín. La cuarta y quinta etapa corresponden al calentamiento por inducción, compuesto por un circuito convertidor DC/AC y la bobina de carga o de inducción, respectivamente. Las flechas de la Figura 1, indican la circulación del aceite que se calentará con los sistemas de calefacción por resistencia eléctrica y por inducción electromagnética.

Figura 1. Sistema de calefacción para biodigestores anaeróbicos.



Elaboración propia.

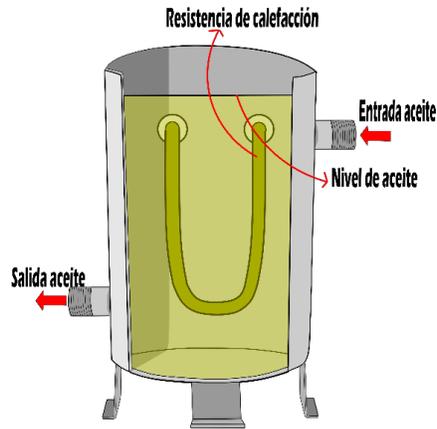
A continuación, se explicará cada una de las fases que conforman este sistema de calefacción para biodigestores anaeróbicos.

### 2.1 Recipiente de calentamiento por resistencia eléctrica

En la Figura 2, se muestra el recipiente que contiene la resistencia de calefacción eléctrica y a su vez funciona como un reservorio que permite la liberación de la presión generada por el aceite,

debido que al calentarse presenta una expansión del 20% (Shell, 2005), de este modo se protegen las tuberías y uniones que conforman el sistema de calefacción.

Figura 2. Recipiente de calentamiento por resistencia eléctrica.

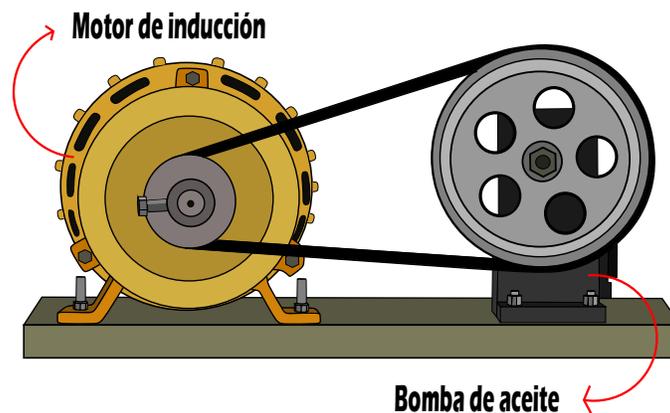


Elaboración propia.

## 2.2 Motor de inducción y bomba de aceite

Para la circulación del aceite mineral se utilizó una bomba centrífuga de aceite marca IZUZU modelo NPR 4BD1, accionada mediante un motor de inducción que transfiere su energía mediante un acople de transmisión de poleas y correas. El sistema de la Figura 3, tiene una relación de transformación de 1.25. Este sistema impulsa y recircula el aceite que transferirá la temperatura previamente obtenida por algunos de los dos métodos de calefacción antes mencionados. El motor de la Figura 3, alcanza una velocidad nominal de 3450 RPM, una potencia de  $\frac{1}{2}$  HP y alimentación a 120 VAC.

Figura 3. Motor de inducción y bomba de aceite.



Elaboración propia.

### 2.3 Recipiente de almacenamiento e intercambiador de calor

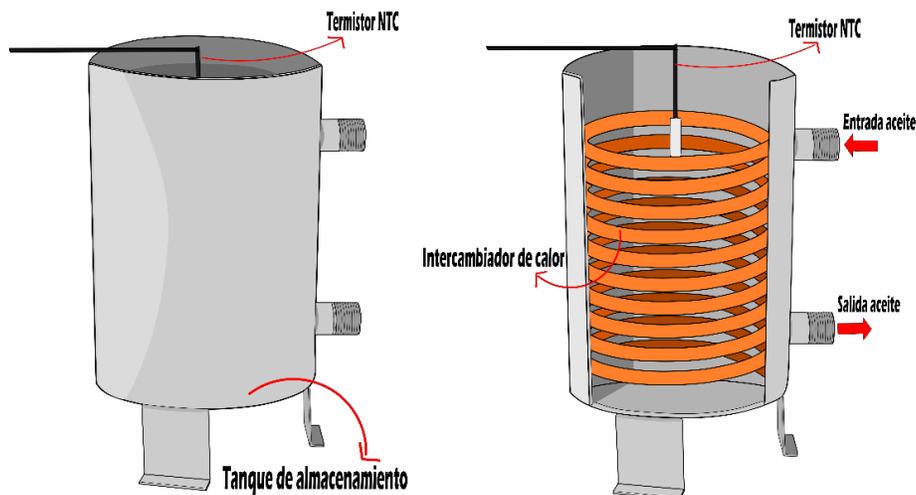
Para determinar el material del intercambiador de calor se tuvo presente el calor específico de distintos metales, como se puede observar en la Tabla 1, debido a que la cantidad de energía que se requiere para elevar la temperatura cambia respecto a otros metales. Mediante la comparación de los metales se seleccionó el cobre, puesto que tiene un calor específico de  $390 \text{ J/Kg}^{\circ}\text{C}$  para la implementación del serpentín se utilizó un tubo de  $3/8$  de pulgada de diámetro (Figura 4) (Pérez Sánchez et al., 2019) (Ardila & Hincapié, 2012). Este recipiente a su vez cumple con la función de ser un almacenador de las muestras a calentar como se observa en la Figura 4.

Tabla 1. Calor específico de un metal.

Sustancia	J/Kg*°C	cal/(g*°C)
Acero	480	0.114
Aluminio	920	0.22
Cobre	390	0.093
Hierro	470	0.113
Latón	390	0.094
Mercurio	140	0.033
Oro	130	0.03
Plata	230	0.056
Zinc	390	0.092

Fuente: (Determinación Del Calor Específico de Un Sólido, n.d.)

Figura 4. Recipiente de almacenamiento e intercambiador de calor, vista exterior e interior.



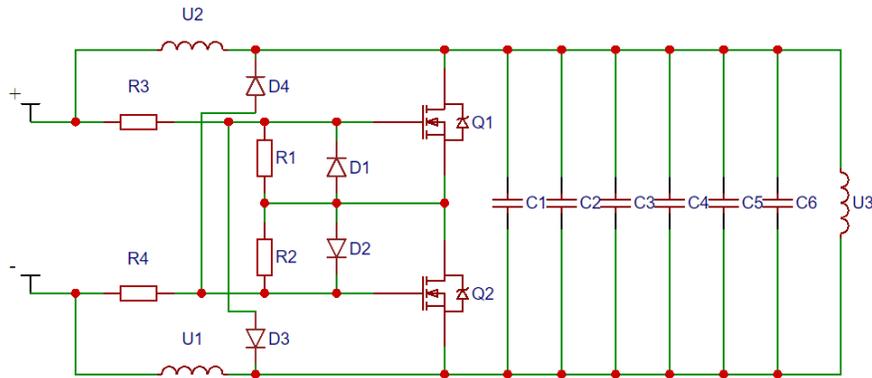
Elaboración propia.

### 2.4 Circuito inversor (convertidor DC - AC)

La Figura 5 representa un inversor DC – AC cuasi resonante de conmutación suave (SS), donde los interruptores de potencia (Q1, Q2) se reemplazan por interruptores resonantes con conmutación con voltaje cero (ZVS) (Hincapié et al., 2013). Los dos diodos de sujeción se adoptan como diodos rectificadores (Chen et al., 2010). Los interruptores son transistores MOSFET de referencia

IRFP260N (International IR Rectifier, n.d.), con el fin de aprovechar los diodos internos. Este circuito está alimentado con una fuente de voltaje de entrada de 30V. Para evitar la sobretensión en los MOSFET se conectan diodos Zener de 12 V (D1 - D2), se incluyen disipadores de calor y un sistema de refrigeración para evitar el sobrecalentamiento durante el funcionamiento.

Figura 5. Circuito inversor.



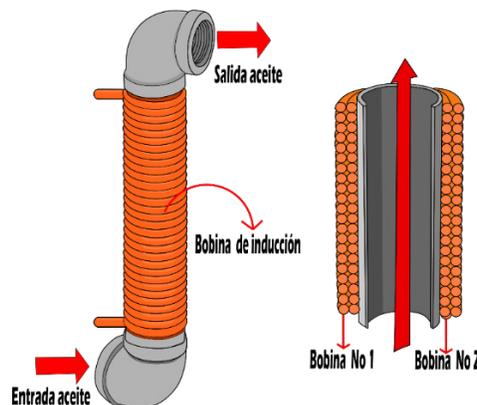
Elaboración propia.

Debido a que el circuito opera a alta potencia, se puede disipar una cantidad considerable de calor a través del condensador C1. Por esta razón, los 5 condensadores (C2 - C6) de la Figura 5, se conectan en paralelo a la salida de la etapa del rectificador. El paralelo de estos componentes disminuye las inductancias parásitas que hay en todos los dispositivos de potencia que podrían ocasionar un comportamiento resonante no esperado.

## 2.5 Bobina de inducción

El bobinado que genera la inducción electromagnética envuelve una porción de tubería galvanizada en la que circula el aceite, de este modo al inducir una temperatura a este tramo de tubería, el aceite que circula por su interior se verá sometido a altas temperaturas. La bobina de inducción que se muestra en la Figura 6, está fabricada con alambre de cobre esmaltado de calibre 17 con capacidad de corriente de 4.1 A y consta de dos bobinados de 200 vueltas conectados en paralelo, duplicando de esta manera sus propiedades inductivas.

Figura 6. Bobina de inducción, vista exterior e interior.



Elaboración propia.

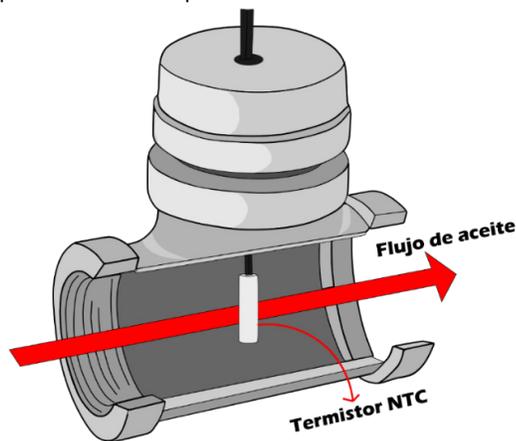
### 3. Metodología

En el recipiente de almacenamiento de la fase 3 mostrado en la Figura 1, se agregaron 2 litros de agua calentada mediante el intercambiador de calor de serpentín, por el que circula aceite mineral. Lo anterior, con el fin de poner a prueba los dos sistemas de calefacción, el de resistencia eléctrica e inducción electromagnética.

Para cada una de las pruebas de los dos sistemas de calefacción se conservaron las mismas condiciones iniciales y se estableció un tiempo de medición de 75 minutos (01:15:00 h). Las magnitudes medidas fueron la temperatura y la corriente. Estos datos fueron adquiridos mediante un microcontrolador Arduino Uno con intervalos de 2.26 s.

Se utilizaron termistores NTC (EPCOS, 2006) para la medida de variación de temperatura. En la Figura 7, se observa un acople galvanizado en donde va ubicado uno de los termistores, situado en la entrada de la fase 3 de la Figura 1, con la finalidad de medir la temperatura del aceite que recircula con los sistemas de calefacción mencionados y, como se aprecia en la Figura 4 se encuentra el segundo sensor, con el propósito de leer constantemente la temperatura del agua.

Figura 7. Posición del termistor NTC para medir la temperatura del aceite.



Elaboración propia.

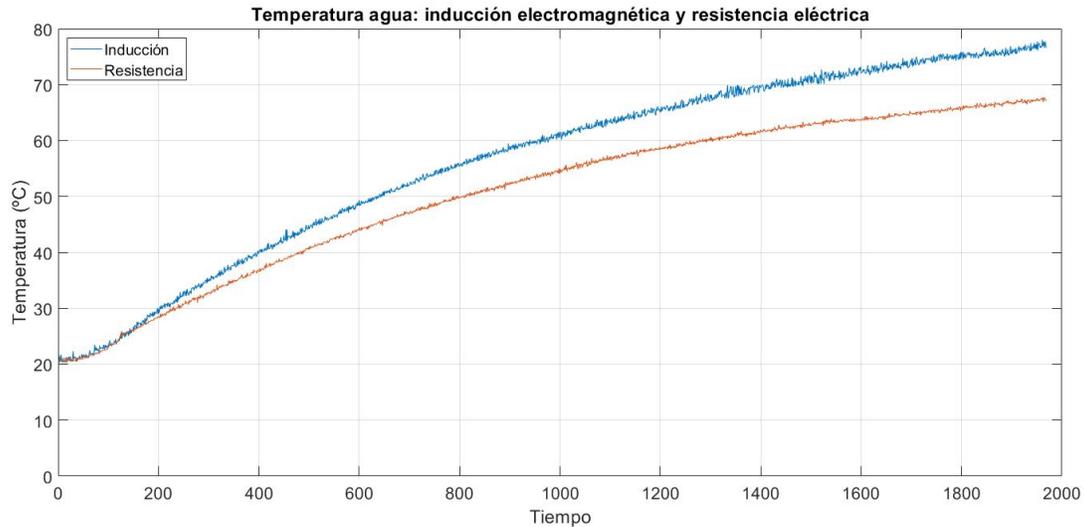
Por último, se procesaron los resultados de tiempo, temperatura y potencias registrados en el experimento, utilizando Matlab para posteriormente realizar el análisis y la comparación de los dos sistemas de calefacción.

### 4. Resultados y análisis

En la Figura 8 se observa la temperatura del agua (representa el sustrato del biodigestor en el experimento) como la variable a estudiar para observar el comportamiento de los dos sistemas de calefacción. En los primeros 7' 35" la temperatura del agua en el sistema por inducción se encontraba en 29.81°C mientras que en el sistema por resistencia en 28.61°C con una diferencia de 1.2°C. Si se realiza un segundo análisis en la mitad del tiempo de la prueba, es decir 37' 56", la

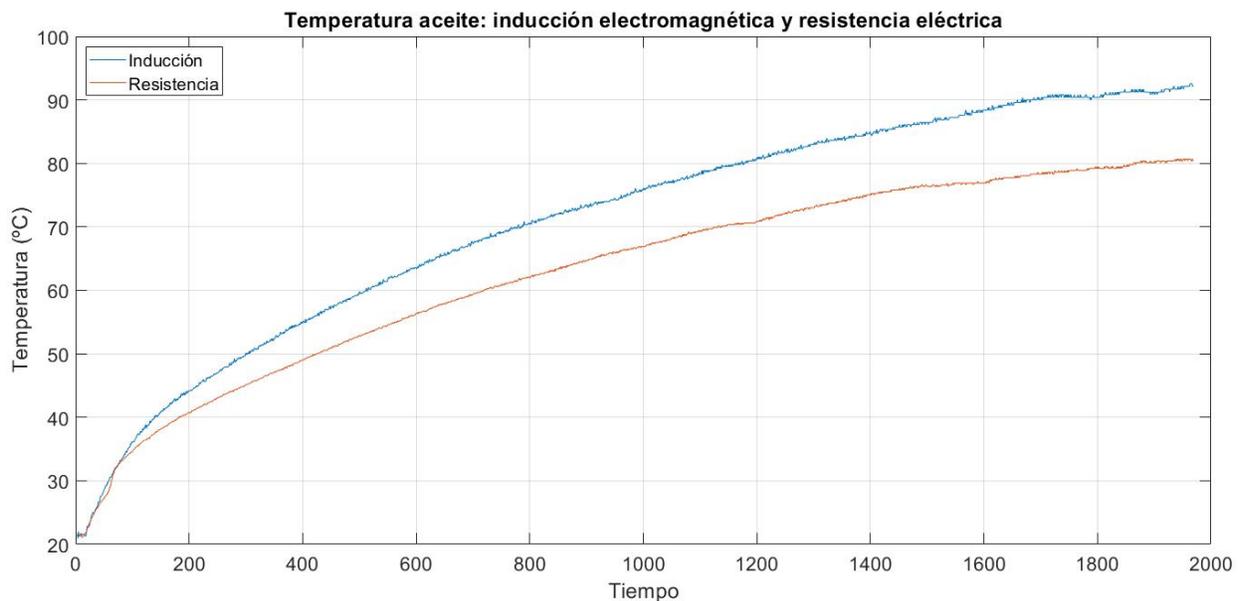
temperatura del sistema por inducción, línea azul, es superior al sistema por resistencia en  $6.23^{\circ}\text{C}$ . Al finalizar el tiempo de muestras, la temperatura del agua en el calentamiento por inducción fue de  $76.61^{\circ}\text{C}$  superando en  $9.28^{\circ}\text{C}$  la temperatura con el método por resistencia eléctrica.

Figura 8. Temperatura del agua con los sistemas de calefacción por inducción electromagnética y resistencia eléctrica.



En la Figura 9 se presenta la temperatura a la cual fue sometido el aceite por los dos métodos de calentamiento. En un tiempo de  $7' 53''$  la temperatura aumentó más rápido respecto al resto de intervalos de tiempo en los dos sistemas, sin embargo, el sistema de inducción, (línea de color azul), en este mismo tiempo obtiene una temperatura superior de  $3.47^{\circ}\text{C}$  sobre el sistema de resistencia (color rojo). Al finalizar el tiempo de prueba, el sistema de inducción obtuvo una temperatura final de  $92.13^{\circ}\text{C}$  y el sistema de resistencia de  $80.49^{\circ}\text{C}$  con una diferencia de  $11.64^{\circ}\text{C}$ .

Figura 9. Temperatura del aceite con los sistemas de calefacción por inducción electromagnética y resistencia eléctrica.



En la Tabla 2, se evidencia la energía consumida en el calentamiento del sustrato por los dos sistemas de calefacción, esta se tomó en intervalos de 10°C a excepción del último que es menor debido a que la temperatura máxima alcanzada por el sistema de calentamiento por resistencia fue de 67°C. Además, en la columna de mejora se calculó el porcentaje de reducción de consumo de energía que se alcanzó con el sistema de calentamiento por inducción respecto al de resistencia.

Tabla 2. Energía consumida en el calentamiento del sustrato por los sistemas de calefacción.

<b>Energía consumida en el calentamiento del sustrato (agua)</b>			
Temperatura (°C)	Energía consumida		Mejora (%)
	Calentamiento por resistencia	Calentamiento por inducción	
30	0.074 kWh	0.049 kWh	32
40	0.155 kWh	0.094 kWh	49
50	0.250 kWh	0.150 kWh	40
60	0.403 kWh	0.223 kWh	44
67	0.607 kWh	0.293 kWh	51

## 5. Conclusiones

Dados los resultados obtenidos por los dos sistemas de calentamiento, el de inducción electromagnética fue el método que elevó la temperatura del agua y del aceite más rápido, teniendo temperaturas en un promedio de 5.57°C y de 7.55°C respectivamente superiores respecto al de calentamiento con resistencia eléctrica.

Para el diseño del calentador por inducción se deben tener en cuenta las características del material metálico a calentar, como lo son la resistencia y sus propiedades ferromagnéticas, debido a que esto depende el rendimiento del calentador a inducción. De igual manera es necesario conocer las características del aceite y la cantidad necesaria con el fin de calcular un valor aproximado de la potencia requerida para calentarlo en un tiempo y temperatura específica.

El calentador por inducción electromagnética para biodigestores anaeróbicos consumió un 51% menos de energía al alcanzar los 67°C con respecto al calentador por resistencia eléctrica. En promedio el porcentaje de mejora de consumo de energía entre el sistema de inducción electromagnética sobre el sistema por resistencia eléctrica es de 43.2% en el calentamiento del sustrato, esto sugiere que su funcionamiento mejoraría también la eficiencia del sistema de generación de biogás mediante digestión anaerobia.

## 6. Referencias

- Ardila, J., & Hincapié, D. (2012). Intercambiadores de calor de tubo en espiral. Spiral tube heat exchangers. *Universidad Industrial de Santander Colombia*, 203–213. <https://www.re-dalyc.org/pdf/5537/553756872006.pdf>
- Benavides, H. O. (2007). Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el cambio climático. *Ideam*, 1–102. <https://doi.org/IDEAM-METEO/008-2007>
- Chen, W., Ruan, X., Chen, Q., & Ge, J. (2010). A novel clamping diode current reset scheme for ZVS PWM full-bridge converter. *2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2010 - Proceedings*, 1932–1937. <https://doi.org/10.1109/ECCE.2010.5618145>
- Corabastos. (2021). *INFORME DE GESTION 2020. Asamblea de accionistas 18 de marzo 2021*. 108. <https://corabastos.com.co/sites/default/files/2021-02/INFORMEDEGESTION2020.pdf>
- Cuaran, M. I. C. (2017). *CAPACIDAD ENERGETICA GENERADA POR EL ESTIERCOL DE CERDOS, COMO ALTERNATIVA PARA EL PROCESO DE TRANSFORMACION DE PANELA*. 93.
- *Determinación del calor específico de un sólido*. (n.d.). Retrieved June 9, 2022, from <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/calorimetro/calorimetro.htm>
- EPCOS. (2006). NTC thermistors for temperature measurement. *Instruments and Control Systems*, 49(8, Aug. 1976), 61.
- Gerbert, P. J. et al. (2013). TACKLING CLIMATE CHANGE THROUGH LIVESTOCK - A GLOBAL ASSESSMENT OF EMISSIONS AND MITIGATION OPPORTUNITIES. In *Most* (Vol. 14, Issue 2). <https://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf>
- Gutiérrez, J. A. R. (2020). *ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS CON POSIBILIDAD DE APLICACIÓN POR PARTE DE LA COORPORACIÓN DE ABASTOS DE BOGOTÁ - CORABASTOS*.
- Hincapié, J. N., Trejos, L. A., Moncada, M. E., & Escobar, A. (2013). Electrónica de potencia para el calentamiento por inducción doméstico: revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 9(18), 237–262. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.9.18.13>
- International IR Rectifier. (n.d.). *IRFP260NPbF*. 1–8. [https://www.arrow.com/en/products/irfp260npbf/infineon-technologies-ag?region=nac&utm\\_campaign=octopart\\_2020&utm\\_content=inv\\_listing&utm\\_currency=USD&utm\\_keyword=IRFP260NPBF&utm\\_medium=aggregator&utm\\_source=octopart](https://www.arrow.com/en/products/irfp260npbf/infineon-technologies-ag?region=nac&utm_campaign=octopart_2020&utm_content=inv_listing&utm_currency=USD&utm_keyword=IRFP260NPBF&utm_medium=aggregator&utm_source=octopart)
- Ortiz Yair, et al. (2021). *DISEÑO DE PROTOTIPO PARA LA MEDICIÓN DE POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RSO DE LA PLAZA DE MERCADO DE FUSAGASUGÁ MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA*.
- Pérez Sánchez, A., Pérez Sánchez, E. J., Heredia Sánchez, A., & Pazos Amayuela, L. (2019). Diseño de un intercambiador de calor de serpentín para el enfriamiento de acetona. *Nexo Revista Científica*, 32(01), 61–74. <https://doi.org/10.5377/nexo.v32i01.7988>
- Rodríguez, M. G. (2021). *PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS VEGETALES DE LA PLAZA DE MERCADO “LA GRAN PLAZA CAMPESINA” DE SUBA COMPARTIR A TRAVÉS DEL SISTEMA DE LOMBRICULTURA*.
- Shell. (2005). *Shell Térmico Oil B Shell Térmico Oil B, Catalogue*. 1–5. <http://www.epc.shell.com/>
- Shukman, D. (2021, May 27). *Cambio climático: por qué el mundo está en riesgo de llegar pronto a un límite de temperatura - BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-57271819>
- Unidad de Gestión de Riesgos Agropecuarios - UGRA. (2020). Ficha de inteligencia porcicultura. *Finagro*, 12. <http://www.aguadas-caldas.gov.co/>



## Sobre los autores

- **Niyiret Dayanna Martínez Sabogal:** Estudiante de ingeniería electrónica de la Universidad de Cundinamarca. [ndayannamartinez@ucundinamarca.edu.co](mailto:ndayannamartinez@ucundinamarca.edu.co)
- **Santiago Pérez Hincapié:** Estudiante de ingeniería electrónica de la Universidad de Cundinamarca. [sperezh@ucundinamarca.edu.co](mailto:sperezh@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](mailto:afguerrero@ucundinamarca.edu.co)
- **Edwin Palacios Yepes.** Ingeniero Electrónico, Máster en Diseño y Gestión de Proyectos Tecnológicos, Profesor tiempo completo (TCO) del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Cundinamarca. [epalaciosy@ucundinamarca.edu.co](mailto:epalaciosy@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 © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

