



# DISEÑO DE CONTROL DE TEMPERATURA DE BAJO COSTO PARA UN AMBIENTE CONTROLADO DE CULTIVO DE BACTERIAS ANAERÓBICAS

**Diego Alexander Sepúlveda Díaz, Jair Alberto Ortiz Arévalo, Bayronx Hellcenk Murillo Padilla, Andrés Felipe Guerrero Guerrero, Rubiela Bello Rodríguez**

**Universidad de Cundinamarca  
Fusagasugá, Colombia**

## **Resumen**

Este trabajo muestra el diseño, implementación y pruebas de funcionamiento de un control de temperatura en lazo cerrado, aplicado a un experimento con reactores tipo batch, haciendo uso de componentes de bajo costo, con el cual se busca la estimación del nivel de producción de biogás generado mediante un cultivo de bacterias anaeróbicas. Con la puesta en marcha del sistema se logra obtener un control de temperatura estable en el tiempo con un margen de error bajo ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ), así asegurando la sustentabilidad de los microorganismos.

**Palabras clave:** control; temperatura; bacterias anaeróbicas

## **Abstract**

*This work shows the design, implementation and performance tests of a closed-loop temperature control, applied to an experiment with batch type reactors, using low-cost components, with which the estimation of the biogas production level is sought. generated by a culture of anaerobic bacteria. With the start-up of the system, it is possible to obtain a stable temperature control over time with a low margin of error ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ), thus ensuring the sustainability of the microorganisms.*

**Keywords:** control; temperature; anaerobic bacteria

## 1. Introducción

Cada día se produce una cantidad alta de RSO, los puntos de más alta producción de los RSO se encuentran en las plazas de mercado de los diferentes municipios del país, en la mayoría de los casos estos RSO terminan en los rellenos sanitarios disminuyendo la vida útil de estos, generando contaminación a lo largo de su descomposición. Los RSO pueden ser aprovechados de diferentes maneras, una de estas para la producción de biogás (metano), para luego ser transformada en energía eléctrica, así reduciendo los índices de contaminación.

En Colombia se evidencia bajo aprovechamiento de estos recursos, es por esta razón que la Universidad de Cundinamarca está desarrollando un proyecto financiado por el Ministerio de ciencia Tecnología e Innovación, con el cual se pretende aprovechar los RSO generados en la plaza de mercado de Fusagasugá. El objetivo principal de este proyecto es generar energía eléctrica, minimizando la contaminación y reduciendo costos de facturación ante la empresa pública de energía de Cundinamarca.

El proyecto busca la implementación de un prototipo de biodigestor anaeróbico, en el que se aprovechan los RSO recolectados en la plaza de mercado y lodos activos, provenientes de la planta de tratamiento de agua potable del municipio, en esta mezcla, las bacterias de los lodos activos consumen los RSO generando metano ( $\text{CH}_4$ ) y otros gases, finalmente el metano es aprovechado por un generador de energía eléctrica.

Actualmente se está trabajando en la fase I del proyecto, la cual consiste en la realización de un experimento de cultivo de bacterias, en un ambiente controlado de temperatura, en un rango ideal de  $55^\circ \text{C}$  (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu, 2005). La relación sustrato/inoculo será depositada en el biorreactor (Erlenmeyer), el cual estará sellado herméticamente y recubierto por una capa de pintura negra para impedir el paso de luz, así evitando la inhibición de las bacterias.

Para el control de temperatura se utilizan Planchas De Calentamiento Con Agitación Magnética, las cuales constan de un control en lazo abierto, este tiene una deficiencia a la hora de controlar la temperatura, al no poder mantenerse en un valor estable en el tiempo. por esta razón, el objetivo final de este trabajo es desarrollar un control en lazo cerrado mediante componentes de bajo costo, como un sensor de temperatura resistivos(NTC), un comparador y un actuador, entre otros. garantizando un ambiente ideal a la hora de controlar la temperatura en los biorreactores.

En este trabajo se mostrará el proceso de diseño, implementación, puesta en marcha y pruebas de funcionamiento del sistema de control de temperatura en un reactor de 1 litro de capacidad.

## 2. Metodología

En la Figura 1, se muestra la metodología para desarrollar este trabajo.



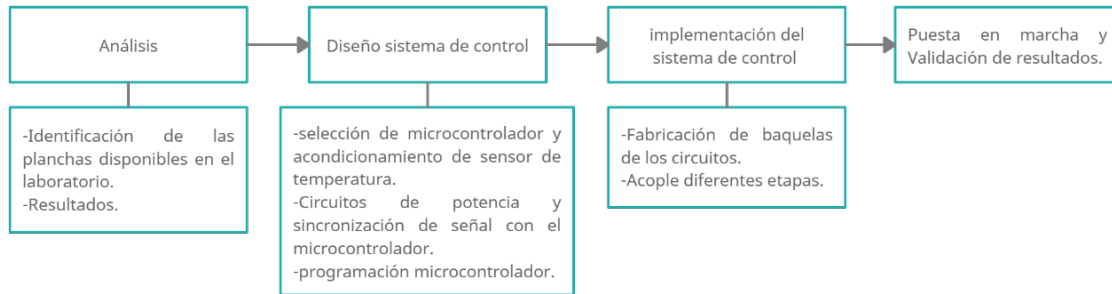


Figura 1 Etapas del proceso.

El proceso inicia con las pruebas a 4 planchas de calentamiento y agitación magnética, para esto se usan reactores a escala (Erlenmeyer) con capacidad de almacenamiento de 1 litro, estos son llenados con agua y colocados sobre las planchas, posteriormente se mide la temperatura dentro del agua usando sensores resistivos ntc y un termostato digital.

Durante las pruebas se puede señalar que estas planchas no cuentan con un control de temperatura eficiente, tienen un sistema de lazo abierto que permite la variación de la temperatura mediante una perilla haciendo deficiente el sistema, esto se evidencia al habilitar las planchas durante varios días y observar que la temperatura del agua presenta una alta variación.

Una vez identificado el problema, se opta por realizar un sistema de control de temperatura de bajo costo, mediante el uso de una tarjeta Arduino UNO y componentes electrónicos comerciales, el objetivo es regular la temperatura del experimento sin afectar el circuito interno de las planchas.

Posteriormente se seleccionan los sensores para medida de temperatura en la mezcla del sustrato/inoculo que se manejará en los reactores a escala, se realiza un circuito de acondicionamiento para los sensores, para la parte de control lo más eficiente es controlar la carga que se entregara a la resistencia de la plancha, por ello se debe hacer un detector de cruce por cero con el microcontrolador y una etapa de potencia.

### 3. Diseño

En primer lugar, se selecciona el microcontrolador, teniendo en cuenta el que mejor se adaptara al diseño y dando prioridad a su bajo costo se eligió el Arduino UNO, después se diseñó el circuito de acondicionamiento y un circuito de detección de cruce por cero, para que luego la información sea procesada por el microcontrolador y finalmente este envié las señales de control a la etapa de potencia, Figura 2 .



Figura 2 Etapas de Diseño.



Después de determinar el microcontrolador a usar, se diseña un circuito de acondicionamiento, como se observa en la Figura 3, compuesto por un divisor de tensión, al cual se encuentra conectado un termistor ntc para medida de la temperatura, al mismo tiempo el divisor se conecta a un circuito span y zero (Avenidaño, 2007) que está compuesto por circuitos integrados LM348 y resistencias, con el fin de limitar la salida de tensión entre 0 V a 5 V para conectar a las entradas de la tarjeta de desarrollo.

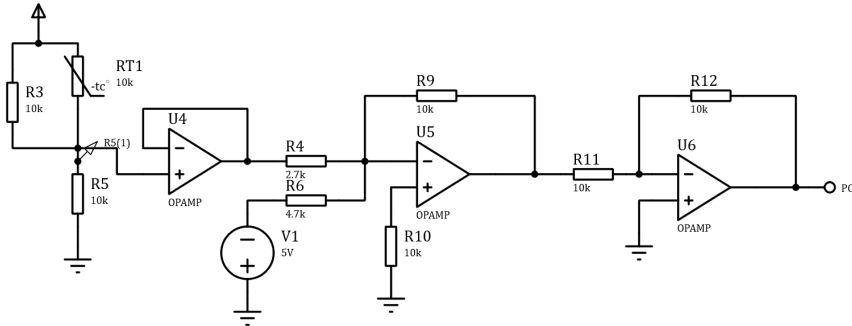


Figura 3 Esquemático Circuito de acondicionamiento.

Para realizar el control se deben identificar los tiempos del ciclo de trabajo de la señal AC (corriente alterna) que se utilizará, en este caso se usa la red doméstica, 120 V con una frecuencia de 60 Hz, con estos datos se encuentra el periodo de la señal  $T = \frac{1}{60} s$ , así mismo con el dato anterior se puede decir que un semiciclo de la señal tendría una duración de  $\frac{1}{120} s$ , Figura 4.

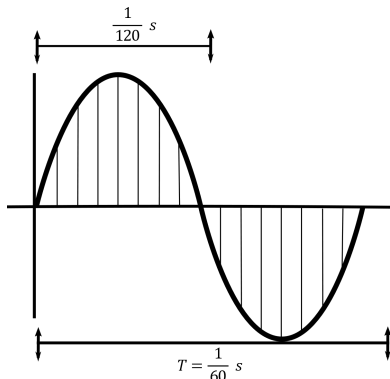
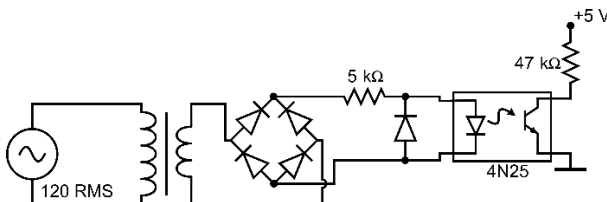


Figura 4 onda sinusoidal red doméstica.

De este modo se decide realizar un detector de cruce por cero (Wilaeba Electronica, 2020), Figura 5, mediante un rectificador de onda completa, convirtiendo la parte negativa de la CA en positiva. Esta pasará por un optoacoplador 4N25 el cual enviará pulsos en el momento que la señal cruce por cero, estos pulsos son detectados por el microcontrolador y posteriormente serán utilizados para el control en la etapa de potencia.

Figura 5 Esquemático circuito cruce por cero.



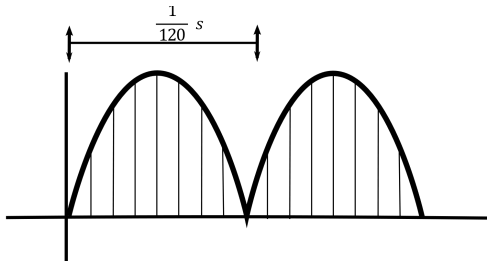


Figura 6 Rectificación de onda completa.

De nuevo ya para la etapa de potencia Figura 7, se utiliza un TRIAC aislado mediante un optoacoplador que se encarga de recibir la señal del microcontrolador, así protegiendo los demás circuitos de la AC (Muhammad, 1995).

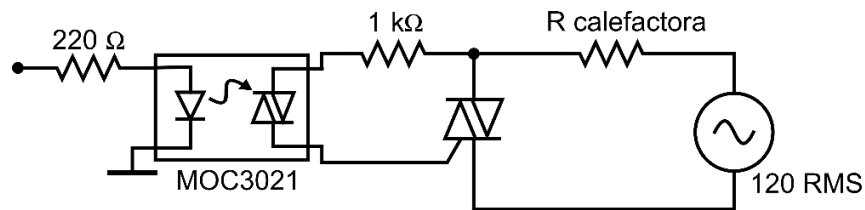


Figura 7 Esquemático circuito de potencia.

Finalmente teniendo las etapas diseñadas, se elabora el programa de control, usando el IDE Arduino, como se observa en la Figura 8, se inicia declarando las variables necesarias para el funcionamiento del programa, seguido de esto se empieza la adquisición de datos de temperatura, con estos datos almacenados se realiza la detección de cruce por cero, al momento de detectar ese instante, se realiza una serie de preguntas basadas en los datos de temperatura, con esto aplicando el control de temperatura variando la potencia entregada a la carga del sistema, para esto se variara el ancho de pulso de la señal AC, la cual tendrá una duración de 1 ms a 8 ms, debido al tiempo de duración de un semiciclo de la señal el cual como se mencionó anteriormente es de  $\frac{1}{120}$  s.

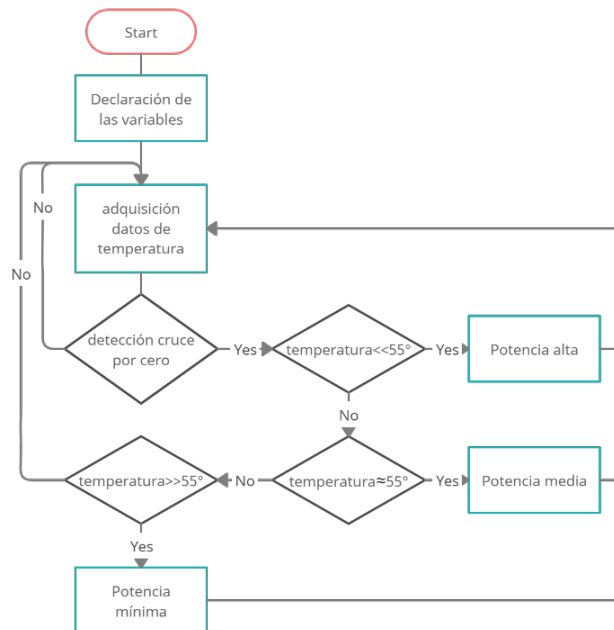


Figura 8 Diagrama proceso de programación.



## 4. Implementación

Los circuitos diseñados se ensamblaron en una baqueta universal, En la Figura 9 se observa el circuito, dejando en evidencia las diferentes etapas demarcadas: demarcada en color rojo se encuentra la etapa de acondicionamiento, dentro del cuadro negro se observa el detector de cruce por cero y finalmente en la demarcación azul la etapa de potencia, con el sistema listo, se realizaron todas las conexiones para iniciar las pruebas, Figura 10.

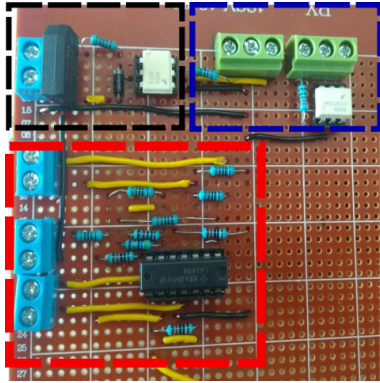


Figura 9 Circuito de control.



Figura 10 Circuito Implementado.

## 5. Resultados

Una vez puesto en marcha el sistema de control, se evidencia un aumento inicial de la temperatura de los Erlenmeyer desde  $21^{\circ}\text{C}$  hasta cerca de  $65^{\circ}\text{C}$ , consiguiendo estabilizarse en  $\pm 50^{\circ}\text{C}$ . Como la temperatura requerida en el experimento es de  $55^{\circ}\text{C}$  se deben hacer pequeños ajustes al código mejorando los resultados, teniendo un margen de error de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Se recolectaron datos del comportamiento de la temperatura en cada una de las planchas durante un lapso de 2 días.

En la Figura 11, se observan los datos del Día 1, la recolección de estos se realiza cada media hora, esto para evidenciar el aumento de la temperatura, observando el máximo sobre impulso 1 hora después de iniciar el sistema y una estabilización 1 hora 30 minutos luego de este sobre impulso.



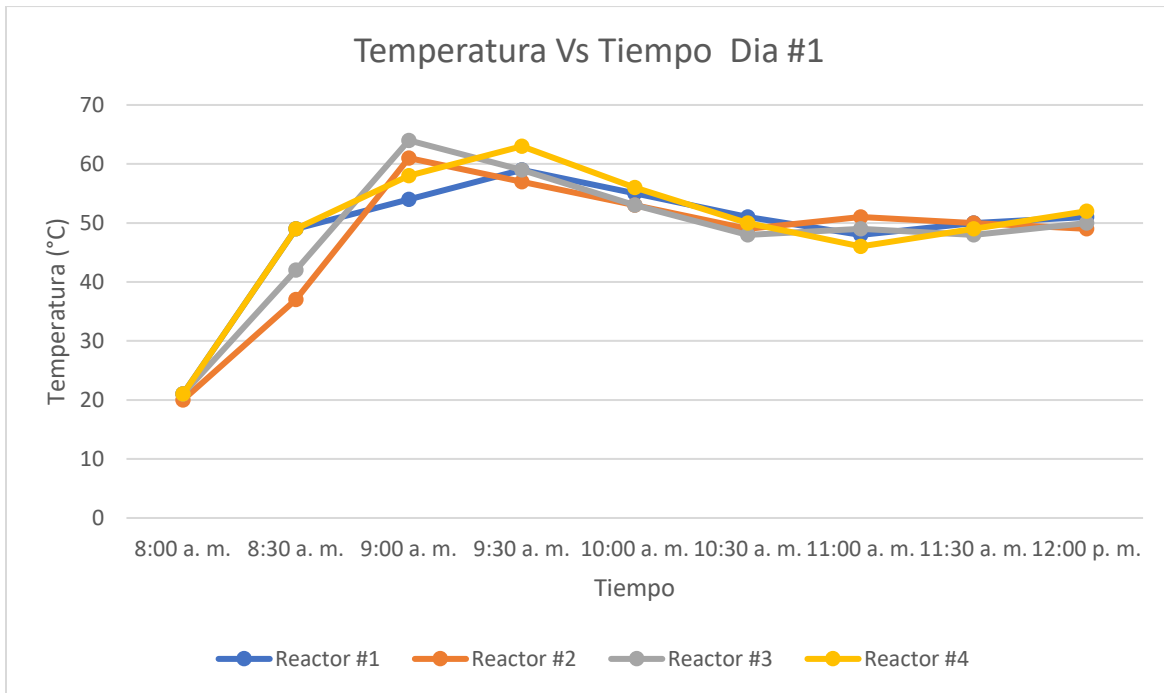


Figura 11 datos de temperatura durante el primer día.

En el segundo día, se realizaron ajustes al código, evidenciando una mejora respecto al margen de error de  $\pm 2^\circ \text{C}$  anteriormente mencionado (Figura 12). Se resalta que el control se mantuvo activo durante los dos días de forma ininterrumpida.

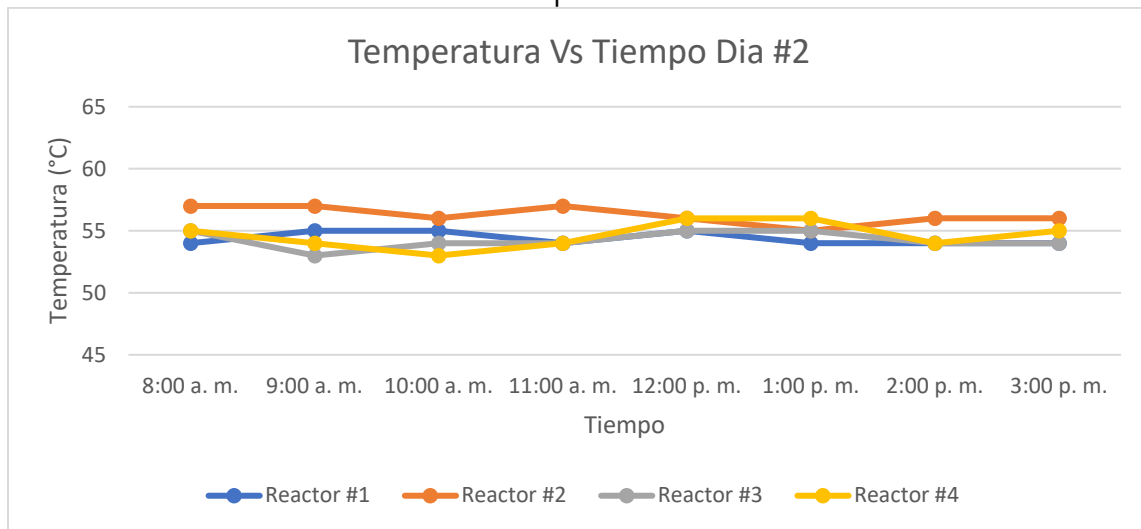


Figura 12 datos de temperatura durante el segundo día.

## 6. Conclusiones

En este trabajo se desarrolló un sistema de regulación de temperatura para reactores tipo batch con capacidad de 1 litro, con el propósito de evaluar producción de biogás en digestión



anaeróbica. El sistema ofrece un mejor control al que se tenía inicialmente, al lograr mantener una temperatura estable en el tiempo, con un margen de error de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ , mejorando las condiciones para el cultivo de bacterias anaeróbicas.

Mediante el uso de componentes de bajo costo, se cumple el objetivo de reducción de gastos en la implementación de un control de temperatura, obteniendo buenos resultados como una estabilización de la temperatura hora y media después del máximo sobre impulso.

Debido a ligeras variaciones de los componentes utilizados en la implementación del sistema de control, se presentaron diferentes valores de temperatura en estado permanente en los 4 reactores, por esta razón fue necesario realizar ajustes del algoritmo de control mediante software.

## 7. Referencias

- Avendaño, L. E. (2007). Sistemas Electrónicos Analógicos: Un Enfoque Matricial. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Lorenzo Acosta, Y., & Obaya Abreu, M. C. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 35-48.
- Muhammad, H. R. (1995). Electrónica de potencia Circuitos, dispositivos y aplicaciones. México: PRENTICE HALL HISPANOAMERICA, S.A.
- Wilaeba Electronica. (09 de julio de 2020). Wilaeba Electronica. Obtenido de WilaebaElectronica. Consultado el 8 de junio de 2021 en <https://wilaebaelectronica.blogspot.com/2018/04/detector-de-cruce-por-cero-con-optoacoplador-optoelectronica.html>

## Sobre los autores

- **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](mailto:dasepulveda@ucundinamarca.edu.co)
- **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](mailto:jairaortiz@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](mailto:bhmurillo@ucundinamarca.edu.co)
- **Rubiela Bello Rodríguez:** Ingeniero Electrónico, Magíster en Gerencia de Proyectos de la Universidad Tecnológica de Bolívar. Profesora tiempo completo del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Cundinamarca. [rbello@ucundinamarca.edu.co](mailto:rbello@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)





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)

