

# Propuesta Para El Diseño Del Control Automático De Una Planta De Producción De Biodiesel A Partir De Aceite Usado De Cocina

Yesid C. Rosas-Narváez  
Jose A. Salazar-Castro

Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales  
Manizales, Colombia  
Universidad de Nariño  
Pasto, Colombia  
ycrosasn@unal.edu.co,  
joasalazarca@unal.edu.co.

Diego H. Peluffo-Ordóñez  
Carlos A. Ramírez

Universidad Técnica del Norte  
Ibarra, Ecuador  
Universidad de Nariño  
Pasto, Colombia  
Universidad Cooperativa de Colombia sede Pasto  
Pasto, Colombia  
dhpeluffo@utn.edu.ec,  
carlos.ramirez@campusucc.edu.co.

**Resumen**— La eliminación desordenada de aceite por parte de hogares y restaurantes, así como el desaprovechamiento del aceite usado de cocinas se han convertido en causas trascendentales de contaminación. Asimismo, si no se recicla adecuadamente el aceite usado, la demanda de diésel fósil seguirá prevaleciendo. Esto obedece, entre otras razones, al desconocimiento de las posibilidades y beneficios de la transformación industrial del aceite para la generación de biodiesel. Una etapa determinante de la generación de biodiesel es la transesterificación, proceso que se desarrolla, tradicionalmente, de forma manual y heurística, razón por la cual está propenso a errores humanos. Esta investigación presenta el diseño de un prototipo para la automatización del proceso de transesterificación a través de un control automático de pH y temperatura.

**Palabras Clave**—Aceite usado de cocina, Biodiesel, control de pH y temperatura, diseño de planta de producción, transesterificación.

## I. INTRODUCCIÓN

Algunos estudios para la producción de biodiesel han empleado técnicas de control difuso para el proceso de transesterificación controlando la temperatura [1,2], otros estudios usan controles basados en redes neuronales para estimar las cantidades suficientes de los elementos que componen el biodiesel [3].

Una causa de contaminación ambiental, se debe a la falta de reutilización del aceite usado de cocinas por parte de hogares y restaurantes, ya que este representa en esencia un contaminante importante dado que causa una mayor huella de carbono. El desconocimiento de los ciudadanos acerca de las posibilidades y beneficios de la transformación industrial del aceite usado de cocina para la generación de biodiesel ha conllevado a una prevalente demanda de diésel fósil [4, 5]. La producción de biodiesel a partir de aceite usado de cocina es una alternativa energética sostenible, ya que cada litro de aceite usado produce una cantidad determinada de biodiesel, y dicho proceso no afecta el medio ambiente, disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la generación de diésel de origen fósil. Teniendo en cuenta que un litro de aceite usado

de cocina contamina cerca de un millón de litros de agua [5], se ha desarrollado la manera de reutilizar el aceite de cocina y producir biodiesel, a través de procesos químicos y tecnológicos, y así no contaminar el ambiente. En el proceso de obtención de biodiesel es fundamental tener en cuenta el contenido de ácidos grasos libres de los aceites, con el fin de garantizar la calidad del combustible. El aceite usado de cocina es más ácido respecto al aceite refinado, debido a que tiene en mayor proporción ácidos grasos que surgen a partir del proceso de cocción [6].

En la Figura 1 se muestra el diagrama general del proceso para la generación de biodiesel indicando los bloques constructivos más importantes.

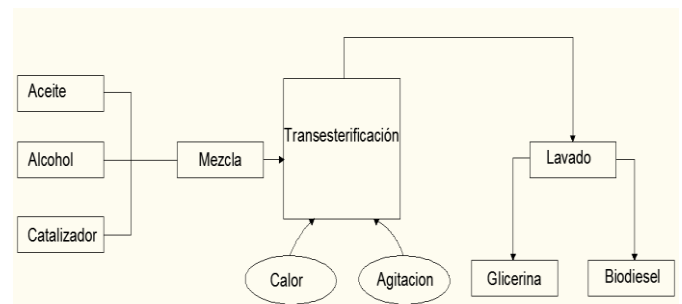


Fig. 1. Diagrama de bloques general del proceso de generación de Biodiesel a partir de aceite usado de cocina

Una etapa determinante de la generación biodiesel es la transesterificación, proceso por el cual se hace la mezcla de compuestos con volumen, temperatura y pH controlados. Dicho proceso, tradicionalmente, se lleva a cabo de forma manual y heurística, razón por la cual está propenso a errores humanos [9]. En este trabajo se presenta el diseño de una planta piloto con el proceso de transesterificación automático a través de un control de pH, volumen y temperatura. Este trabajo tiene como objetivo generar beneficios sociales y ambientales a través de la materialización de resultados científicos y tecnológicos, y así fortalecer las capacidades de innovación de base tecnológica, en

materia de reutilización de aceite de cocina para la generación biocombustible.

La organización de este documento es: En la sección 2 se aborda los materiales y métodos, aquí se describe como se realiza el diseño de una planta piloto y se presenta un estudio comparativo de técnicas de control de pH, volumen y de temperatura. En la sección 3 se presenta la integración de una etapa de control de pH, volumen y temperatura a la planta piloto diseñada. Por último, en la sección 4 se realizan algunas conclusiones e ideas para un trabajo futuro.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se presenta el diseño de una planta piloto para la producción de biodiesel a partir de aceite usado de cocina. También se presenta un estudio comparativo de técnicas de control de pH, volumen y temperatura que posteriormente serán integradas a la planta piloto.

### A. Recolección de datos y observación

Los procesos existentes relacionados a la obtención de biodiesel a partir de aceite usado de cocina se basan en principios químicos como la regulación de pH a un nivel de 7 (neutro) y el uso de termostatos regulados para operar a una temperatura aproximada de 45 °C. Si bien la regulación de temperatura se realiza mediante herramientas que garantizan este valor, la regulación del pH se realiza con la ayuda de terceros, es decir que se necesita de un químico que indique las cantidades de bases a adicionar para disminuir la acidez del aceite. De igual forma, las proporciones de los reactantes deben ser de 80% para el aceite y 20% para el metóxido de sodio no solo con el fin de regular el pH sino con la intención de obtener una reacción más eficiente en la generación biodiesel y obtener menos pérdidas por la generación de glicerina [7, 8].

En general, las metodologías que son utilizadas son tradicionales y prácticamente son susceptibles de errores humanos que hacen de este proceso algo heurístico. Para obtener resultados óptimos en el proceso de obtención de biodiesel se

debe garantizar proporciones adecuadas de los elementos que componen este biocombustible, por tal motivo el objetivo de este trabajo es presentar un diseño para la automatización del proceso de transesterificación para mejorar la calidad y cantidad de biodiesel producido, aprovechando al máximo los insumos utilizados [8].

### B. Etapas de una planta piloto y diseño

La planta piloto para la producción de biodiesel contará con un sistema hidráulico compuesto por electroválvulas, motobombas, tanques de almacenamiento, tanques de procesamiento y motores de agitación. Para realizar el dimensionamiento de materiales de diseño necesarios para una planta piloto se debe tener en cuenta que en la generación de biocombustible, para su correcta obtención, existen unas etapas básicas comprendidas entre:

1. Filtrar el aceite.
2. Deshidratar el aceite.
3. Determinar las proporciones de los elementos para el proceso de transesterificación.
4. Separar biodiesel y glicerina.
5. Proceso de lavado.
6. Obtención de biodiesel.

Dado que el aceite usado de cocina proviene de restaurantes y hogares contendrá impurezas o residuos de alimentos, por tanto es necesario que este sea filtrado previamente, debido a que puede causar taponamientos en los conductos hidráulicos de la planta piloto. Además de impurezas o residuos, el aceite usado puede contener agua por lo que se debe calentarlo de tal forma que el agua se evapore, dicho proceso se conoce como deshidratación. Después de terminar el proceso de mezclado, por medio de decantación se separa el biodiesel de la glicerina. Finalmente se lleva a cabo el proceso de lavado, el cual consiste en suministrar agua al biodiesel obtenido, para evitar que parte de la glicerina se haya quedado en el biocombustible [10, 11]. Las etapas descritas anteriormente se pueden apreciar en el diseño de la planta piloto que se presenta en la Figura 2.

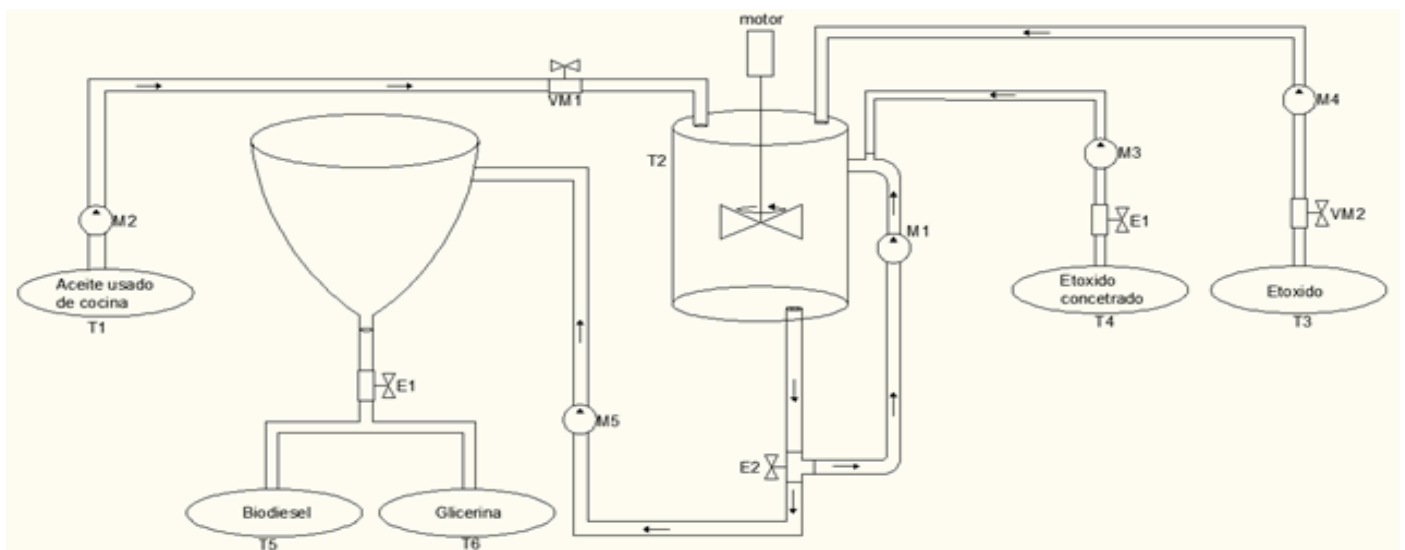


Fig. 2. Diagrama de bloques general del proceso de generación de Biodiesel a partir de aceite usado de cocina

### C. Control de pH, de volumen y de temperatura

Dentro de las técnicas de control que se podrían integrar a la planta piloto para la automatización de la transesterificación están; el controlador on-off, el controlador proporcional, integral y derivativo, la linealización exacta, el controlador *gain scheduling*, el control distribuido, el control difuso o basado en redes neuronales. Estos se destacan por su aplicación ligada a la automatización de procesos industriales que requieren de respuestas eficientes, han sido ampliamente investigados e implementados en diversas aplicaciones y los resultados obtenidos a partir de estos deberían ser los adecuados para la aplicación propuesta [9].

El diseño de los sistemas de control de pH, volumen y temperatura permitirá el cumplimiento de las proporciones óptimas en la etapa de transesterificación. El sistema de control debe ser modular, es decir que este se puede adaptar a cualquier tipo de planta de producción de biodiesel, siempre y cuando cumplan con los requisitos que serán estipulados en el manual de usuario. Este sistema debe contar con un conversor DC/AC que permita la energización de actuadores como electroválvulas, motobombas, motor de agitación y resistencias para regulación de voltaje. De esta forma, la sistema de control compuesto por sensores y hardware de procesamiento podrán operar a un nivel de 12 voltios y el sistema de potencia a un voltaje de 120 voltios.

### III. DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO Y AUTOMATIZACIÓN

Como se dijo antes, existe la necesidad de automatizar el proceso de transesterificación, esto dado que los procesos

tradicionales no aprovechan al máximo la materia prima para poder generar el biodiésel. De esta forma, los productos no siempre suelen cumplir ni con la calidad ni con la cantidad esperada generando pérdidas de producción y esto es debido a la falta de automatización. Para solventar este problema es necesario integrar un sistema que permita la automatización del proceso utilizando dispositivos electrónicos como sensores de temperatura, sensores de pH, sensores de proximidad para determinar volumen, electroválvulas para cierre y apertura de conductos, motobombas para desplazamiento de fluidos y tarjetas de adquisición y procesamiento de datos.

Se propone un diseño innovador para una planta piloto de transesterificación automática, la cual presenta un sistema de control de pH garantizando un nivel neutro, el control de volumen para garantizar las correctas proporciones de los reactivos y un control de temperatura para garantizar que se aporta la suficiente energía a la reacción mejorando la velocidad de esta sin necesidad de utilizar catalizadores como aceleradores. El sistema hidráulico debe estar compuesto por tubos de aluminio galvanizado de pulgada y media (1 1/2") para una mayor durabilidad y resistencia a la corrosión por el manejo de sustancias con pH no neutro. Finalmente, se realizó una mejora novedosa para la mezcla de los reactivos ya que de la forma tradicional no se garantiza una homogeneidad generando asentamientos de reactivos y mezclas desproporcionadas que disminuyen la calidad del producto generando desechos con impacto ambiental negativo. La figura 3 ilustra el una planta piloto automatizada para el proceso de transesterificación en la cual se resalta la ubicación estratégica de los dispositivos electrónicos e hidráulicos.

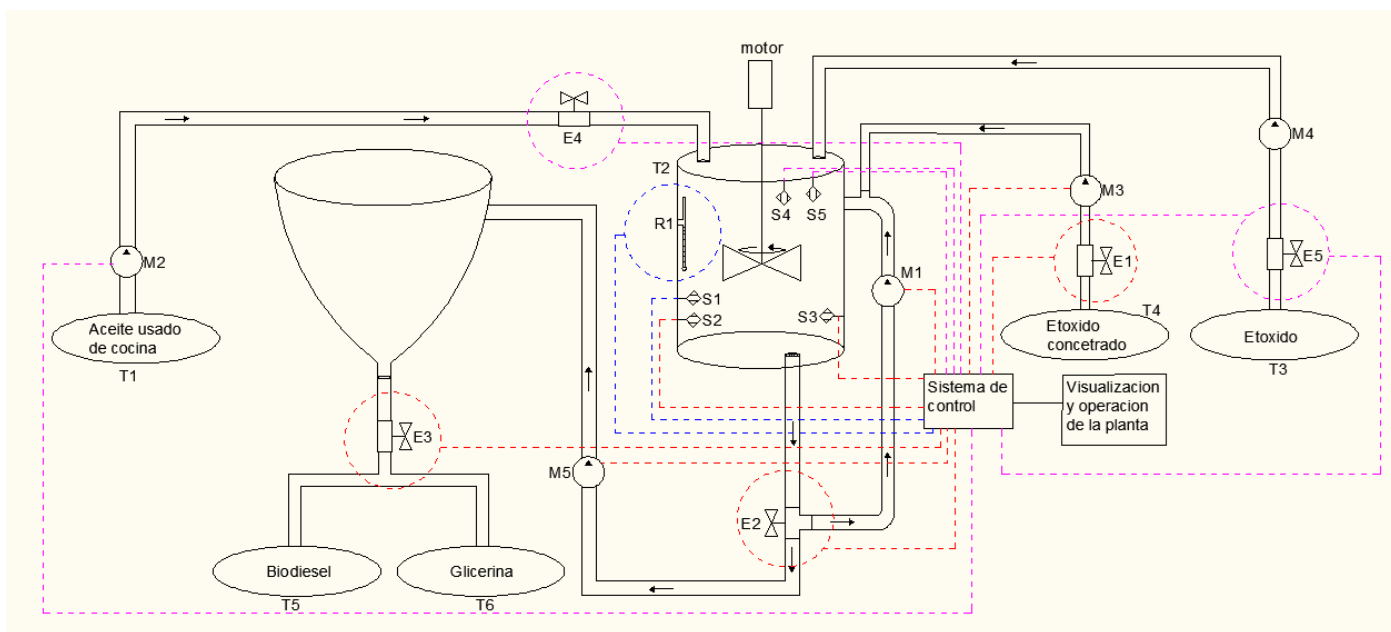


Fig. 3. Diagrama esquemático del sistema de control de pH, volumen y temperatura

El proceso general del prototipo es: En el reactor T2 se efectuará un movimiento de rotación de la mezcla de etóxido y aceite filtrado mediante un motor eléctrico que agitará dicha mezcla en el proceso de transesterificación, la electroválvula E4 dará paso al aceite filtrado proveniente del tanque T1 y la

electroválvula E5 dará paso al etóxido proveniente del tanque T3 que tiene un contenido de hidróxido de sodio (NaOH) por cada litro de alcohol, en estas condiciones para no exceder las proporciones de etóxido y aceite 20% y 80% respectivamente, se instalarán los sensores S4 y S5 que permitirán estimar el

volumen de los líquidos para controlar el nivel mediante las electroválvulas E4 y E5. Normalmente el aceite tiene un elevado contenido de ácidos grasos que lo ubican en un grado de pH inferior a 7 en estado ácido, por lo cual es necesario agregar a la mezcla cierta cantidad de hidróxido de sodio, para neutralizarla se implementará un paso de etóxido en alta concentración de hidróxido de sodio proveniente del tanque T4 que será regulada por la electroválvula E1 con sistema de goteo y protegida por un cheque; esta electroválvula E1 y las bombas M1 y M3 serán manipuladas por el sistema de control teniendo en cuenta las mediciones obtenidas a partir de los sensores de pH S2 y S3, fijos en el reactor de transesterificación T2.

Dentro del proceso de transesterificación también se incluirá el control de temperatura, la medición será efectuada por el sensor de temperatura S1 fijo al reactor T2, se conmutará desde el tablero de control el encendido y apagado de la resistencia R1. Las redes hidráulicas en general tendrán instaladas válvulas cheque para evitar el retroceso de los fluidos en los circuitos, proteger los equipos y proteger el proceso.

De esta forma, no solo se recolectarán aproximadamente hasta 50 litros de aceite semanales, sino que se mejora la eficiencia de la transesterificación aprovechando de mejor manera los reactivos y realizando mediciones más exactas que las que se realizan tradicionalmente. Así, se presenta un diseño novedoso y automatizado que permite generar un producto de mejor calidad, más homogéneo, un proceso más eficiente y lo más relevante, un seguimiento de producción mediante la visualización de estados de variables de interés.

#### IV. CONCLUSIONES

El uso de métodos tradicionales para la generación de biocombustible o biodiésel no siempre genera los resultados esperados, generando pérdidas más que utilidades. La idea principal de la generación de biodiésel a partir de aceite usado de cocina es utilizarlo como fuente de energía alternativa pero también tiene como propósito disminuir el uso de combustibles fósiles para mitigar en cierta proporción el impacto ambiental. La producción de biodiésel mediante los métodos tradicionales no permite aportar a esta mitigación ya que bien sea se generan residuos en ríos debido a la desproporcionada generación de productos, por tal motivo la propuesta de un diseño innovador que permita automatizar estos procesos garantizando una mejor proporción en productos aprovechando al máximo los reactivos generara un impacto importante en la disminución de contaminantes presentes en los ríos.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al proyecto de investigación “Diseño e implementación de un prototipo electrónico de bajo costo para terapias de biofeedback en tratamientos de trastornos psicofisiológicos” financiado por la Fundación CEIBA y la Gobernación de Nariño.

Este trabajo es realizado con el apoyo de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales y del “Grupo de investigación en ingeniería eléctrica y electrónica” – GIIEE de la Universidad de Nariño. Así como también a la Universidad Técnica del Norte de Ibarra, Ecuador.

#### REFERENCIAS

- [1] Sastry, S. V. A. R., Murthy, C. V. R., & Latha, B. M. Biodiesel Reactor Modeling Using Fuzzy Logic.
- [2] Sohpal, V. K., Singh, A., & Dey, A. (2011). Fuzzy modeling to evaluate the effect of temperature on batch transesterification of *Jatropha curcas* for biodiesel production. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*,6(1), 31-38.
- [3] Badday, A. S., Abdullah, A. Z., & Lee, K. T. (2014). Artificial neural network approach for modeling of ultrasound-assisted transesterification process of crude *Jatropha* oil catalyzed by heteropolyacid based catalyst. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 75, 31-37.
- [4] Herrera, J. A., Vélez, J. A. Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible (biodiesel). Pereira, 2007, 80 p. Trabajo de grado (Tecnología Química). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnología. Escuela de química.
- [5] Rodríguez, Castrillón. (2012). Estimación de la cantidad de grasas y aceites usados y su destino en el municipio de Pasto. Universidad Cooperativa de Colombia. Pasto Colombia. p53, 55.
- [6] Sierra, G. (2012). Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite CENIPALMA Colombia. P27-28. Artículo disponible en línea: [http://catic.unab.edu.co/gires/documentos/jornadas/Marzo22\\_2012\\_Conferencia\\_Guido\\_Sierra.pdf](http://catic.unab.edu.co/gires/documentos/jornadas/Marzo22_2012_Conferencia_Guido_Sierra.pdf).
- [7] Biocombustibles y desarrollo sostenible, artículo disponible en línea: <http://es.journeystoforever.org/biocombustibles/como-hacer-biodiesel.cgi#nuestro-primer-biodiesel>.
- [8] Castro, P., Coello, J., & Castillo, L. (2007). Opciones para la producción y uso de Biodiesel en el Perú. *Soluciones Prácticas*, ITDG.
- [9] Arbeláez F, Sanz D. “Diseño y construcción de una maquina controlada para la producción de biodiesel”. Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Mecatrónica, Universidad de San Buenaventura 2008.
- [10] Herrera J, Vélez J. “Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible biodiesel”. Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Tecnología Química, Universidad Tecnológica de Pereira 2008.
- [11] Medina M, Ospino Y. “Evaluación de un proceso para obtener biodiesel usando tecnologías combinadas a partir de aceites residuales”. Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Químico, Universidad de Cartagena 2011.