

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



“EVALUACIÓN DEL ACOPLAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA SOLAR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL RESIDUAL”

Presenta

José Ángel León Valdez

DIRECTORA: Dra. Gisela Montero Alpírez

CODIRECTOR: Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega

Mexicali, B. C.

Diciembre de 2017

ÍNDICE DE CONTENIDO

<i>Agradecimientos</i>	vi
<i>Resumen</i>	vii
<i>Abstract</i>	x
<i>1. Introducción</i>	
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivo de la investigación	4
1.3.1 Objetivos específicos	4
1.4 Hipótesis	5
Referencias capítulo 1	6
<i>2. Marco teórico</i>	
2.1 Biodiésel	8
2.1.1 Características del biodiésel	10
2.1.1.1 Densidad	10
2.1.1.2 Viscosidad cinemática	11
2.1.1.3 Número ácido	11
2.1.1.4 Número cetano	11
2.1.1.5 Punto flash	11
2.1.1.6 Poder calorífico	12
2.1.1.7 Punto de nube	12
2.1.1.8 Corrosión de tira de cobre	12
2.1.2 Procesos de producción de biodiésel	12
2.1.2.1 Catálisis alcalina	12
2.1.2.2 Catálisis ácida	13
2.1.2.3 Catálisis enzimática	14
2.1.2.4 Proceso en condiciones supercríticas	15
2.2 Energía Solar	16
2.2.1 Radiación solar	16
2.2.2 Tecnologías	18

2.2.2.1 Electricidad fotovoltaica	19
2.2.2.2 Calentamiento	19
2.2.2.3 Electricidad termosolar	20
2.2.2.4 Manufactura solar de combustibles	20
2.2.3 Aplicaciones industriales	21
2.3 Software de simulación	23
2.3.1 ASPEN PLUS®	23
2.3.2 TRNSYS®	24
Referencias capítulo 2	25
3. Metodología	
3.1 Metodología general	30
3.2 Simulación de biodiésel con catálisis alcalina	31
3.3 Simulación de biodiésel con catálisis ácida	34
3.4 Simulación de biodiésel en condiciones supercríticas	36
3.4.1 Determinación de parámetros para el HTF	38
3.4.2 Simulación de colectores	38
3.4.2.1 Fracción solar	41
3.5 Análisis de impacto ambiental	41
Referencias capítulo 3	43
4. Resultados	
4.1 Simulación de biodiésel con catálisis alcalina	46
4.1.1 Simulación de colectores solares	47
4.2 Simulación de biodiésel con catálisis ácida	51
4.2.1 Simulación de colectores solares	53
4.3 Simulación de biodiésel en condiciones supercríticas	57
4.3.1 Simulación de colectores solares	59
4.4 Análisis de impacto ambiental	63
4.5 Análisis económico	66
5. Conclusiones y recomendaciones	
5.1 Conclusiones y recomendaciones	72
Anexos	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1.1 Mapa de irradiación directa normal en el mes de Junio en México.	4
---	---

Capítulo 2

Figura 2.1 Reacción de transesterificación	8
--	---

Capítulo 3

Figura 3.1 Diagrama de metodología general	31
Figura 3.2 Diagrama en ASPEN PLUS del proceso de producción de biodiésel por la vía alcalina.	33
Figura 3.3 Diagrama en ASPEN PLUS® del proceso de producción de biodiésel por la vía ácida.	35
Figura 3.4 Diagrama de producción de biodiésel en condiciones supercríticas en ASPEN PLUS®.	37
Figura 3.5 Diagrama de bloques del sistema de almacenamiento de energía termosolar.	39
Figura 3.6 Diagrama de simulación en TRNSYS® del sistema de almacenamiento de energía termosolar.	40

Capítulo 4

Figura 4.1 Diagrama en ASPEN PLUS del proceso de producción de biodiésel por la vía alcalina.	46
Figura 4.2 Diagrama de simulación en TRNSYS® del sistema de almacenamiento de energía termosolar.	48
Figura 4.3 Comparativo de arreglos de colectores solares.	49
Figura 4.4 Ahorro y consumo mensual de energía del sistema de almacenamiento de energía termosolar.	50
Figura 4.5 Fracción solar mensual del sistema de almacenamiento de energía termosolar.	50
Figura 4.6 Aportaciones de energía al proceso de producción de biodiésel por la vía ácida.	51
Figura 4.7 Diagrama en ASPEN PLUS del proceso de producción de biodiésel por la vía ácida.	52
Figura 4.8 Diagrama de simulación en TRNSYS® del sistema de almacenamiento de energía termosolar.	54
Figura 4.9 Comparativo de arreglos de colectores solares.	54
Figura 4.10 Ahorro y consumo mensual de energía del sistema de almacenamiento de energía termosolar.	55
Figura 4.11 Fracción solar mensual del sistema de almacenamiento de energía termosolar.	56
Figura 4.12 Aportaciones de energía al proceso de producción de biodiésel por la vía ácida.	57
Figura 4.13 Diagrama en ASPEN PLUS del proceso de producción de biodiésel en condiciones supercríticas.	57

Figura 4.14 Diagrama de simulación en TRNSYS® del sistema de almacenamiento de energía termosolar.	59
Figura 4.15 Comparativo de arreglos de colectores solares.	60
Figura 4.16 Ahorro y consumo mensual de energía del sistema de almacenamiento de energía termosolar.	61
Figura 4.17 Fracción solar mensual del sistema de almacenamiento de energía termosolar	62
Figura 4.18 Aportaciones de energía anual al proceso de producción de biodiésel en condiciones supercríticas	62
Figura 4.19 Impacto ambiental aportado por caso de estudio	63
Figura 4.20 Impacto ambiental dividido por categoría de impacto.	64
Figura 4.21 Impacto de salida y generador por cada proceso.	65
Figura 4.22 Flujo de efectivo acumulado para el proceso de producción de biodiésel por la vía alcalina.	69
Figura 4.23 Flujo de efectivo acumulado para el proceso de producción de biodiésel por la vía ácida.	70
Figura 4.24 Flujo de efectivo acumulado para el proceso de producción de biodiésel en condiciones supercríticas.	70

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 3

Tabla 3.1 Composición representativa del aceite de canola residual.	32
Tabla 3.2 Composición representativa del aceite de canola residual.	35
Tabla 3.3 Composición representativa del aceite de canola residual.	37

Capítulo 4

Tabla 4.1 Condiciones de operación y composiciones másicas de corrientes de simulación.	46
Tabla 4.2 Demanda energética del proceso de producción de biodiésel por la vía alcalina.	47
Tabla 4.3 Parámetros del arreglo de colectores parabólicos lineales.	49
Tabla 4.4 Condiciones de operación y composiciones másicas de corrientes de simulación.	52
Tabla 4.5 Demanda energética del proceso de producción de biodiésel por la vía ácida.	53
Tabla 4.6 Parámetros del arreglo de colectores parabólicos lineales.	55
Tabla 4.7 Condiciones de operación y composiciones másicas de corrientes de simulación.	58
Tabla 4.8 Demanda energética del proceso de producción de biodiésel en condiciones supercríticas.	58
Tabla 4.9 Parámetros del arreglo de colectores parabólicos lineales.	60
Tabla 4.10 Cantidades mensuales de recursos requeridos por proceso.	67
Tabla 4.11 Costo de equipo requerido por proceso (M.N).	68
Tabla 4.12 Desglose de inversión total por proceso.	68
Tabla 4.13 Costos de producción por proceso.	69
Tabla 4.14 Rendimiento financiero a 5 años por proceso.	71

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó bajo el apoyo económico del CONACYT, por lo cual se le agradece, ya que me dio la oportunidad de continuar con mis estudios de posgrado.

Agradezco a la Dra. Gisela Montero Alpírez, Directora del Instituto de Ingeniería, quien me abrió las puertas de la institución y proporcionó los medios e instalaciones necesarias para llevar este trabajo a cabo.

A la misma Dra. Gisela Montero Alpírez, quien al cumplir su rol como directora de la presente tesis me brindó su apoyo constante durante toda la etapa de esta investigación y pese a sus ocupaciones siempre atender mis inquietudes.

A mi co-director de tesis, Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega, y al Dr. Conrado García González. Por darme la oportunidad de desarrollarme en el campo de la investigación, compartir sus conocimientos y siempre guiar mi preparación profesional.

A mis compañeros de laboratorio por su apoyo y dedicación son un ejemplo a seguir en mi formación profesional. A mis padres y hermano, sin cuya ayuda no tendría la oportunidad de desarrollar mis metas. Por ultimo debo agradecer a mis amigos, gracia a sus valiosos consejos me inspiran a seguirme superando cada vez más.

Resumen

La investigación en el desarrollo de energías limpias ha tomado gran importancia en los últimos años debido a la problemática de cambio climático global ocasionado en gran manera por la quema de combustibles fósiles. Es por ello que el uso del biodiesel, un biocombustible renovable con menor impacto ambiental que el diésel, continúa en expansión a nivel internacional. El proceso de producción de este biocombustible se lleva a cabo por diferentes métodos, en donde las principales vías son catalíticas, alcalina y ácida. Entre las no catalíticas destaca la producción de biodiésel en condiciones supercríticas. Cada vía de reacción para la producción de biodiésel implica diversas consideraciones, las cuales afectan el diseño del proceso. La materia prima utilizada es uno de los factores preponderantes en el costo final del proceso y es donde los aceites vegetales residuales proveen de una gran ventaja. Independientemente del método utilizado para obtener biodiésel, las investigaciones en el escalamiento a nivel industrial de dichos procesos presentan todavía áreas de oportunidad. La demanda energética de estos procesos es importante, en la que destaca la etapa de recuperación de metanol a través de flash de separación o columnas de destilación. Comúnmente, dicha energía es suministrada por medio de electricidad o vapor a alta temperatura, los cuales son producidos generalmente a partir de combustibles fósiles. Esto representa una oportunidad para la aplicación de energías renovables.

La energía solar puede ser aprovechada para diversos fines, desde el calentamiento de agua para uso doméstico hasta la generación de electricidad. El aprovechamiento de este tipo de energía en procesos industriales no ha sido una excepción. Mexicali, Baja California; ciudad al norte de México, presenta buenos indicadores de viabilidad de explotación de energía solar a nivel industrial. Por lo que el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el impacto económico y ambiental de la producción de biodiésel a partir de aceite vegetal residual (AVR), por diferentes medios catalíticos y no catalíticos, con energía solar como fuente principal de energía. Se utilizó el software ASPEN PLUS® para simular los diferentes procesos de producción de biodiesel, así como determinar las cargas energéticas requeridas por dichos procesos. Para el acoplamiento de energía solar al proceso, se utilizó el software TRNSYS®, el cual permitió evaluar diversos arreglos de colectores solares bajo las condiciones climáticas y de irradiación solar de Mexicali, Baja California.

El análisis de impacto ambiental se realizó a partir del algoritmo de reducción de residuos (WAR por sus siglas en inglés), el cual es promovido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA por sus siglas en inglés). El objetivo de WAR es reducir los impactos ambientales y los

relacionados con la salud humana en la fase de diseño, tomando en cuenta las materias primas utilizadas, los productos y residuos generados, así como la energía consumida por el proceso y su fuente de origen. Por último, se realizó un análisis económico de los tres procesos de producción de biodiésel simulados y se consideró la utilización de colectores solares para el suministro de energía a dichos procesos.

El análisis económico consistió en evaluar la construcción del proceso de producción de biodiésel y el sistema de almacenamiento de energía térmica solar, con las especificaciones obtenidas a partir de las simulaciones realizadas. Para el análisis fueron considerados los costos de instalación, operación y mantenimiento del proceso, así como los ingresos y egresos generados del mismo. El estudio económico se proyectó para un periodo de 5 años de operación, en los cuales se consideró una inflación del 5.5% promedio anual y valor de recuperación al término de los 5 años de cero.

Independientemente de las necesidades energéticas de cada proceso, todos se ven beneficiados por el uso de los sistemas de captación de energía solar. Se obtuvieron diferentes arreglos de colectores para cada proceso. Para el proceso por la vía alcalina se determinó un arreglo de 4 colectores en serie y 8 en paralelo, para el proceso por la vía ácida 5 en serie y 7 en paralelo, y el proceso en condiciones supercríticas 6 en serie y 13 en paralelo. Las simulaciones realizadas en TRNSYS® mostraron que, para los procesos por la vía alcalina y ácida, es factible suministrar cerca del 99% de la energía requerida por el proceso a través de energía térmica solar. Mientras que para el proceso en condiciones supercríticas sólo es posible proporcionar el 69.49% de la energía con el sistema de colectores solares. El resto de la energía requerida por cada proceso en la simulación de la producción de biodiésel, fue suministrada por una fuente de energía auxiliar. Dichos resultados reflejan que Mexicali Baja California cuentan con las condiciones climáticas favorables para la explotación del recurso solar.

El uso de energía solar como fuente energía primaria tuvo un efecto notablemente positivo en el impacto ambiental de dichos procesos. De acuerdo con el análisis de impacto ambiental realizado a cada proceso, el mayor impacto es generado por la emisión de compuestos orgánicos volátiles. En los procesos de producción de biodiésel esto es debido al uso de metanol como reactivo necesario para la reacción. Los procesos por la vía alcalina y ácida son los mayores aportadores a este impacto. El proceso en condiciones supercríticas tiene su mayor impacto ambiental en el potencial de acidificación del aire, lo cual genera lluvia ácida. Esto se debe al alto consumo de energía requerida por el proceso.

Los procesos de producción de biodiésel se ven altamente beneficiados al utilizar AVR como materia prima, no sólo ambientalmente, sino también económicamente debido a su bajo costo. El costo final de producción resultó menor para el proceso por la vía alcalina, con \$14.19 M.N. por litro producido. Los

procesos restantes, proceso ácido y en condiciones supercríticas, tuvieron un mayor costo de producción de \$15.40 y \$14.40 M.N., respectivamente. Los precios actuales del diésel, permiten que los costos de producción del biodiésel puedan ser competitivos si se mantiene un nivel de producción elevado. Por medio de una evaluación a 5 años de operación, el proceso de producción de biodiésel por la vía alcalina resultó ser más rentable que los otros dos procesos estudiados. El proceso alcalino obtuvo beneficios económicos a partir del tercer año de operación con una tasa interna anual de retorno del 36.4%. El proceso por la vía ácida tuvo la menor TIR anual, con 28.1%. En tanto el proceso en condiciones supercríticas una TIR anual de 30.3%. En general, los tres procesos presentan un moderado beneficio económico, lo cual debe ser tomado en cuenta al momento de invertir en dichos proyectos.

La integración e implementación de diversas tecnologías limpias es importante para el desarrollo y auge de los biocombustibles, así como el desarrollo sustentable.

Abstract

Recently the research in the development of clean energy has become very important, due to global climate change caused largely by the burning of fossil fuels. Hence, the use of biodiesel, a renewable biofuel with less environmental impact than diesel, it continues to expand internationally. The production process of this biofuel is carried out by different methods. The most used method is the catalytic, through alkaline and acidic routes. Among the noncatalytic methods is the supercritical conditions process. Each reaction path involves several considerations, which affect the design of the process. The raw material used is one of the preponderant factors in the final cost of the process, where the residual vegetable oils provide a great advantage. Regardless of the method used to obtain biodiesel, research in the implementation these processes at industrial level still have many areas of opportunity. The energy demand of these processes is significant, in which the methanol recovery stage through separation flash or distillation columns stands out. Commonly, the energy is supplied by electricity or steam at high temperature, obtained generally by fossil fuels. This represents an opportunity for the application of renewable energy.

The solar energy can be used for various purposes, from water heating for domestic use to the generation of electricity. The use of this kind of energy in industrial processes has not been an exception. In Mexicali, Baja California; a city located in northern Mexico, the exploitation of solar energy at industrial level is feasible. Therefore, the aim of this work was to evaluate the economic and environmental impact of biodiesel production of from waste vegetable oil (WVO), by different catalytic and non-catalytic methods, with solar energy as the main source of energy. The ASPEN PLUS[®] software was used to simulate the different biodiesel production processes, as well as to determine the energy loads required. For the coupling of the solar energy to the process, the TRNSYS[®] software was used, which allowed the evaluation of diverse solar collector arrays under the climatic and solar irradiation conditions of Mexicali, Baja California.

The environmental impact analysis was carried out using the waste reduction algorithm (WAR), promoted by the Environmental Protection Agency of the United States of America (EPA). The objective of WAR is to reduce the environmental impacts and those related to human health in the design phase, based on the raw materials used, the products and waste generated, and the energy consumed by the process and its origin source. At last, an economic analysis of the three simulated biodiesel processes was carried out, including the use of solar collectors for the energy supply.

The economic analysis included the construction of the biodiesel production process and the solar thermal energy storage system, with the specifications obtained from the simulations. The analysis considered the

costs of installation, operation and maintenance of the process, as well as the income and expenses generated from it. The economic study was planned for 5 years of operation, with an average annual inflation of 5.5% and a recovery value at the end of 5 years of zero.

Regardless the energy requirements of each process, all of them were benefited by the use of solar energy collection systems. Different collector arrangements were obtained for each process. For the alkaline process it was determined an array of 4 collectors in series and 8 in parallel. For the acid process 5 in series and 7 in parallel, and the supercritical conditions process 6 in series and 13 in parallel. The simulations with TRNSYS® showed that 99% of the energy required in the alkaline and acidic processes is supplied through solar thermal energy. For the supercritical conditions process the solar collector system provided only 69.49% of the energy required. The rest of the required energy by each biodiesel production process was supplied by an auxiliary energy source. These results show that Mexicali Baja California have the favorable climatic conditions for the exploitation of the solar resource.

The solar energy as a primary energy source had a remarkable positive effect on the environmental impact of these processes. According to the environmental impact analysis performed on each process, the greatest impact is generated by the emission of volatile organic compounds. In the biodiesel production processes, is due to the use of methanol as a reagent for the reaction. The alkaline and acidic process are the main contributors to this impact. The supercritical conditions process has its greatest environmental impact on the potential of acidification of the air, generating acid rain. This, is due to the high energy consumption by the process.

The biodiesel production processes are highly benefited by using WVO as a raw material, not only environmentally, but also economically due to its low cost. The lowest production final cost was for the alkaline process, with \$14.19 M.N. per liter produced. The remaining processes, acid and supercritical conditions, had a higher production cost of \$15.40 and \$14.40 N.M., respectively. The current prices of diesel allow the production costs of biodiesel to be competitive, if a high production is maintained. Through 5 years of operation, the alkaline production process resulted more profitable than the other two processes studied. The alkaline process obtained economic benefits at the third year of operation with an annual internal rate of return (IRR) of 36.4%. The acid process had the lowest annual IRR of 28.1%, while the supercritical conditions process, presented an IRR of 30.3%. In general, the three processes have a moderate economic benefit, which must be taken into account when investing in these kind of projects. The integration and implementation of diverse clean technologies is very important for the development and growth of biofuels, as well as sustainable development.

1. Introducción

1.1 Planteamiento del problema

El uso desmedido de combustibles fósiles para el suministro de energía en la vida diaria de la humanidad ha tenido grandes consecuencias ambientales, aunado a una escasez cada vez más notoria, ha ocasionado que tarde o temprano enfrentaremos una transición de combustibles fósiles hacia alguna clase de fuente de energía renovable [1].

El biodiésel es un biocombustible que presenta una alternativa sustentable al uso combustibles fósiles para satisfacer las necesidades de transporte de la humanidad, debido a que puede ser producido a partir de recursos renovables y que su implementación en motores diésel no requiere de grandes modificaciones. Sin embargo, los costos de producción y el consumo de energía para producir el biocombustible han sido los principales obstáculos en su industrialización y comercialización.

Todas las fuentes de grasas animales y aceites vegetales pueden ser utilizadas en la producción de biodiésel. La utilización de estos tipos de materias primas ha ocasionado cierta preocupación pues algunas de ellas son importantes en la industria alimenticia. Es por esto que la mayoría de las investigaciones se han enfocado en aceites no comestibles como fuente de materia prima para la producción de biodiésel como micro algas, aceite de semillas no comestibles o aceites vegetales residuales (AVR) de cocina [2]. Al utilizar AVR se reduce el costo de producción de un 60% a un 90% [3].

Por otra parte, el planeta recibe un gran flujo de energía proveniente del sol: 120,000 TW de radiación electromagnética [1]. Esta cantidad de energía supera por mucho las necesidades de la humanidad. La energía solar presenta un enorme potencial debido a que es una fuente de energía limpia, abundante y económica, pero no es posible utilizarla directamente, debe ser captada y convertida en una forma útil de energía. Debido a que la energía solar es difusa e intermitente, las tecnologías para su conversión debe involucrar la concentración y el almacenaje de la misma. Su aprovechamiento ha ido aumentando cada vez más, que va desde el calentamiento de agua para uso doméstico hasta la generación de energía eléctrica [4-6].

Debido a los altos costos en el proceso de producción de biodiésel, en el presente trabajo se plantea la aplicación de colectores solares para el suministro de energía del proceso de producción de biodiésel a partir de AVR, con el objetivo de disminuir el costo de producción y el uso de combustibles fósiles.

1.2 Justificación

En años recientes, el biodiésel ha traído la atención de investigadores, gobiernos e industrias como un combustible renovable, biodegradable y no tóxico. Sin embargo, diversas fuentes de alimentación han sido probado imprácticas por su alto costo debido a que su uso primario es como recurso alimenticio. Los AVRs son considerados como la fuente más prometedora para la producción de biodiésel a pesar de algunas desventajas, como su alto contenido de ácidos grasos libres (AGL) y agua [7].

Aunque la producción de biodiésel a partir de AVR sigue siendo menos redituable que el uso de combustibles fósiles, las investigaciones siguen en proceso de mejorar el rendimiento y la calidad del combustible. Debido a que cada año se va consumiendo más combustible fósil del que se produce, los AVRs son una excelente alternativa para la producción de biodiésel [8].

La generación de AVR está ligada a la preparación de comida en restaurantes, comedores industriales y hogares. Tradicionalmente, los aceites generados tienen una disposición inadecuada y son descargados directamente a los sistemas de drenaje o tirados ilegalmente. Esto crea problemas de obstrucciones en los sistemas de drenaje, contaminación del suelo y agua incrementando los costos en el tratamiento de aguas residuales. La generación de AVRs ha sido estimada para Baja California en 8 millones de litros al año. Lo que equivale a 6.4 millones de litros de biodiésel anualmente [9].

En cuanto a el aprovechamiento de la energía solar, la ubicación geográfica de México se encuentra entre los 14° y 33° de latitud septentrional, lo que resulta favorable para la captación de la energía proveniente del sol. La irradiación global media diaria en el territorio de México es de alrededor de 5.5 kWh/m² [10]. En la figura 1.1 se aprecia la irradiación directa normal promedio en el mes de Junio en México, en donde Mexicali, una ciudad al noroeste del país cuenta con una radiación diaria promedio en el mes de Junio cerca de los 10 kWh/m². Un análisis de generación de energía mediante radiación solar de la base de datos del national renewable energy laboratory (NREL), muestran que en Mexicali se poseen sitios cuyo nivel de radiación normal directa (DNI por sus siglas en inglés) se ubican por arriba de los 6.5 kW/m²/día. De acuerdo con las escalas de interpretación establecidas por el NREL, que indican que si un sitio cuenta con un valor de DNI superior a 6 kWh/m²/día, se considera un área rentable para la explotación del recurso solar [11].

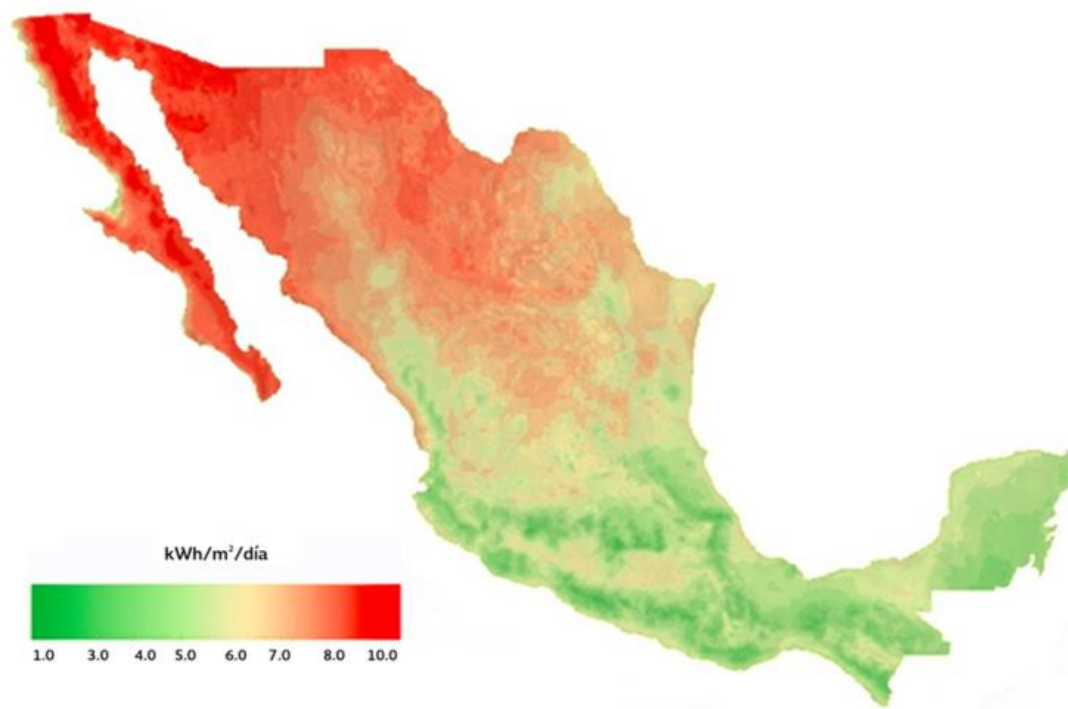


Figura 1.1 Mapa de irradiación directa normal en el mes de Junio en México.

En proyectos relacionados con la producción de biocombustibles como el biodiésel, han mostrado que es de suma importancia la investigación en diversas fuentes de materias primas, medios catalíticos de reacción, la implementación de nuevas tecnologías en la etapa de purificación del biocombustible y el diseño en general de los procesos de producción del biodiésel, buscando así aumentar los rendimientos y hacer más eficiente el consumo de energía. Y de esta manera impactar en el costo de producción y elevar su inclusión en el mercado de la energía.

1.3 Objetivo de la investigación

Evaluar el impacto económico y ambiental de la producción de biodiésel a partir de aceite vegetal residual, por diferentes medios catalíticos y no catalíticos, con energía solar como fuente principal de energía, por medio del diseño de procesos con los simuladores ASPEN PLUS® y TRNSYS®.

1.3.1 Objetivos específicos

En el desarrollo de este proyecto se consideraron los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar los diversos métodos para la producción del biodiésel, así como diversas tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar.

- Efectuar diversas simulaciones de procesos catalíticos y no catalíticos para la producción de biodiésel a partir de AVR.
- Acoplar tecnologías solares para el suministro de energía de diversos procesos de producción de biodiésel a partir de AVR.
- Minimizar el consumo de energía de los procesos de biodiésel evaluados.
- Analizar el impacto ambiental y económico de los procesos de biodiésel.

1.4 Hipótesis

La vía de reacción seleccionada tiene un impacto directo en el consumo energético del proceso de producción de biodiesel, por lo que es posible afectar positivamente el desarrollo de procesos de producción de biodiésel con la inclusión de energía térmica solar como fuente alterna de energía.

Referencias

1. N. Armaroli, V. Balzani, “The future of energy supply: challenges and opportunities, *Angew*”. Chem. Int. Ed., Vol. 46, p.52–66, 2007.
2. Kumar Niraj, Varun, Sant Ram Chauhan, “Performance and emission characteristics of biodiesel from different origins: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 21, p. 633–658, 2013.
3. Amin Talebian-Kiakalaieh, Nor Aishah Saidina Amin, Hossein Mazaheri, “A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil”, *Applied Energy*, Vol.104, p. 683–710, 2013.
4. Soteris A. Kalogirou, Solar thermal collectors and applications, *Progress in energy and combustion science*, 30 (2004) 231-295.
5. H. Kim, E. Park, S. J. Kwon, J. Y. Ohm, H. J. Chang, An integrated adoption model of solar energy technologies in South Korea, *Renewable Energy*, 66 (2014) 523-531.
6. E. Sanz, M. L. Lascurain, A. E. Serrano, B. Larsen, P. Ingwersen, Production, consumption and research on solar energy: The Spanish and German case, *Renewable Energy*, 68 (2014) 733-744.
7. Simasatitkul, R. Gani, A. Arpornwichanop, “Optimal design of biodiesel production process from waste cooking palm oil”, *Procedia Engineering*, Vol. 42, p.1292–1301, 2012.
8. Yaakob Zahira, Masita Mohammad, Mohammad Alherbawi, Zahangir Alam, Kamaruzaman Sopian, “Overview of the production of biodiesel from Waste cooking oil”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.18, p.184–193, 2013.
9. Montero Gisela, Margarita Stoytcheva, Conrado García, Marcos Coronado, Lydia Toscano, Héctor Campbell, Armando Pérez, Ana Vázquez, “Current Status of Biodiesel Production in Baja California, Mexico”, In: M. Gisela (Ed.), *Biodiesel: quality, emissions and by-products*, InTech, Croatia, 2011, pp. 137-152, ISBN 978-953-307-784-0.
10. Secretaria de Energia, *Prospectiva de Energías Renovables 2013-2027*, Mexico 2013.
11. López Torres. “La energía solar como promotora del desarrollo regional: análisis del potencial de generación en baja california”, *Revista internacional administracion & finanzas*, Vol. 5, p. 53-64, 2012.

2. Marco teórico

2.1 Biodiésel

El biodiésel es una mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos de cadena larga formados a partir diversas fuentes de aceites a través de una reacción de transesterificación [1].

Una reacción de transesterificación es la reacción de un aceite con un alcohol para formar ésteres y glicerol. La reacción es mostrada en la figura 1. Para incrementar el rendimiento de la reacción usualmente se requiere un catalizador. Debido a que la reacción es reversible, se requiere un exceso de alcohol para cargar el equilibrio de la reacción al lado de los productos [2].

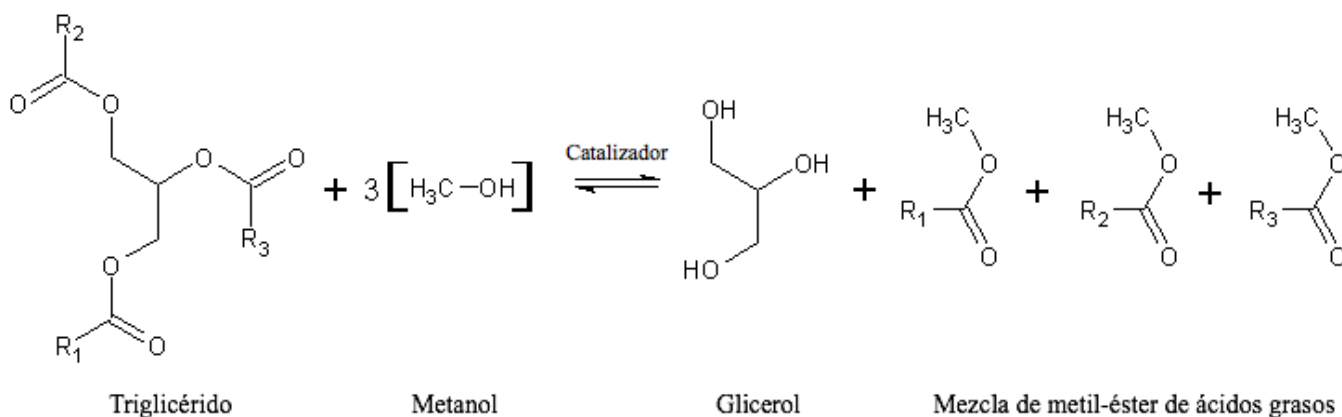


Figura 2.1 Reacción de transesterificación

En general, los aceites contienen típicamente una mezcla de triglicéridos y diferentes proporciones en AGL [3]. Lo cual hace necesario la inclusión de una reacción de esterificación en algunos procesos.

El biodiésel es clasificado como de primera, segunda o tercera generación dependiendo del origen del aceite utilizado para su producción. El biodiésel de primera generación es aquél que es obtenido a partir de fuentes comestibles como los aceites de girasol, maíz, canola y soya. El de segunda generación es producido a partir de residuos de biomasa o fuentes no comestibles como aceites vegetales residuales (AVR), grasa amarilla y marrón o aceite de higuera y jatrofa. Y la tercera generación a partir de microalgas [4].

El ser humano alrededor del mundo utilizan aceites comestibles para cocinar, el cual se descarta posteriormente a su uso. La cantidad de calor y agua que reciben los aceites posterior a la cocción de alimentos aumenta la hidrólisis de los triglicéridos y el porcentaje de AGL en el aceite [5]. El agua y el

contenido de AGL tienen una influencia negativa sobre la reacción de transesterificación para la producción de biodiésel. El precio de los AVR es de dos a tres veces más bajo que los aceites vegetales puros. Asimismo, disminuye significativamente la cantidad de tierras de cultivo, que es necesaria para la producción de aceites utilizados en la elaboración del biodiésel. Los AVR se clasifican de acuerdo con el nivel de AGL contenidos en el aceite: (a) grasa amarilla (<15%) y grasa marrón (> 15%) [6]. Los precios de estos tipos de AVR son entre (\$ 0,04 a \$ 0,09) y (\$ 0,004 a \$ 0,014) para la grasa amarilla y la grasa marrón, respectivamente [7].

Algunos de los efectos negativos de la utilización de AVR para la producción de biodiésel, es la cantidad de AGL que pueden llevar a la formación de jabón. Lo cual consume parcialmente el catalizador y reduce el rendimiento final del proceso. Más del 80% de los AVR se produce en los hogares y la cantidad gran cantidad de AVR vertidos por los desagües conduce a la contaminación del agua [8]. Controlar su disposición implica enormes inversiones económicas tanto en la disposición de aceites como en el tratamiento de agua. En la actualidad, no existe un método sistemático para la recolección de aceites de cocina usados en hogares por lo cual la producción de biocombustible a partir de AVR representa una alternativa importante para la protección y sustentabilidad del medio ambiente.

Actualmente existen diversos medios a través de los cuales se produce el biodiésel, ya sea a nivel industrial o laboratorio. Entre los más destacados se encuentran los siguientes:

- a) Reacción química con catálisis alcalina, utilizada ampliamente a nivel industrial, empleando hidróxido de sodio o hidróxido de potasio como catalizador. Esto se debe a las condiciones prácticas de obtención tales como temperaturas y presiones bajas, así como altas conversiones en tiempos cortos de reacción. Sin embargo, está limitada por el contenido de AGL en el aceite de alimentación debido a que en condiciones alcalinas los AGL reaccionan para producir jabón, el cual puede solidificarse a temperatura ambiente, y reducir el rendimiento de la producción [9].
- b) Reacción con catálisis ácida, los ácidos más utilizados es el sulfúrico y clorhídrico, que a diferencia de la catálisis alcalina, los catalizadores ácidos no son afectados por la presencia de AGL en el aceite de alimentación y pueden catalizar la reacción de transesterificación como la de especificación. A pesar de eso, tienen baja velocidad de reacción, requieren una posterior separación del catalizador,

tienen problemas de corrosión, una alta relación molar de alcohol-aceite y un alto consumo energético [10].

- c) Reacción con catálisis enzimática, las cuales requieren un largo tiempo de reacción y se encuentran en actual estudio para disminuir el impacto significativo en el precio de las enzimas y la optimización del proceso. Sin embargo, simplifican la purificación del biodiésel lo cual reduce el consumo de energía de todo el proceso [11].
- d) Reacción no catalítica bajo condiciones supercríticas, donde la ausencia de catalizador simplifica los procesos de purificación y el biodiésel puede ser separado fácilmente. Las condiciones críticas de operación, de temperaturas y presiones altas, y el alto consumo de alcohol y energía lo han hecho un método poco viable [12].

2.1.1 Características del biodiésel

Existen diversos factores que influyen en la calidad del biodiésel, como el tipo y composición de AGL de la materia prima utilizada, el medio de producción y procesos de purificación del biocombustible. Es por esto que es de vital importancia la caracterización del biodiésel, el cual debe cumplir con los requerimientos establecidos por las normas internacionales como la norma de la Asociación Americana de Pruebas y Materiales (ASTM por sus siglas en inglés) ASTM D6751, y la norma Europea (EN) 14214 [13,14].

Las normas internacionales describen ciertas características físicas y químicas con las que debe cumplir el biodiésel, a continuación se describen algunas de las más relevantes:

2.1.1.1 Densidad

La densidad es una propiedad física utilizada para calcular con precisión el volumen de combustible necesario para una combustión adecuada. La densidad del combustible es muy importante pues afecta la operación del motor, específicamente en las válvulas de inyección. Generalmente, la densidad del biodiésel es mayor a la del diésel. La densidad del biodiésel es medida de acuerdo con la norma ASTM D1298 [15].

2.1.1.2 Viscosidad cinemática

Este parámetro indica la habilidad del combustible para fluir, afectando así la inyección y la atomización dentro del motor, particularmente a bajas temperaturas donde el incremento en la viscosidad afecta la fluidez del biodiésel. Se ha encontrado que la viscosidad del biodiésel es de 10 a 15 veces más alta que la del diésel debido a su gran masa molecular y gran estructura química [16]. La viscosidad cinemática del biodiésel es determinada de acuerdo con la norma ASTM D445 [17].

2.1.1.3 Número ácido

El número ácido (AN por sus siglas en inglés) es una medida de los AGL que contiene el combustible. El AN se expresa como mg de hidróxido de potasio (KOH) que son necesarios para neutralizar 1 g de biodiésel. Se ha encontrado que si el AN del biodiésel es alto puede ocasionar corrosión en las líneas de suministro de combustible para el motor. Este parámetro se determina por medio de la norma ASTM D664 [18].

2.1.1.4 Numero cetano

El número cetano (CN por sus siglas en inglés), es una propiedad que afecta el tiempo de retraso de la ignición del combustible. El CN es una indicación de la calidad de ignición o de la habilidad de rápida auto ignición después de haber sido inyectado. Entre más elevado el CN, es más corto el tiempo entre la inyección del combustible a la cámara de combustión y la ignición del mismo [19]. El biodiésel cuenta con un mayor CN comparado con el diesel convencional pues tiene una mayor contenido de oxígeno, lo que resulta en una mayor eficiencia en la combustión [16]. La norma ASTM D613 describe las especificaciones para determinar el CN del biodiésel [20].

2.1.1.5 Punto flash

El punto flash es la temperatura a la cual el biodiésel se enciende con la presencia de una flama o chispa. Generalmente el biodiésel tiene un mayor punto flash que el diésel, usualmente mayor a 150°C, mientras que el diésel convencional se encuentra entre 55°C y 66°C [21]. Lo cual indica que el biodiésel es más seguro en su transporte, manejo y almacenamiento. El punto flash es medido de acuerdo con la norma ASTM D93 [22].

2.1.1.6 Poder calorífico

El poder calorífico es uno de los parámetros más importantes de caracterizar para un combustible pues describe el contenido energético del mismo. Este es la cantidad de energía calórica que es liberada por el combustible por unidad de masa. Claramente es deseado que este valor sea lo más alto posible. Se ha encontrado que el poder calorífico del biodiésel es menor que el del diesel convencional [23]. El poder calorífico del biodiésel no es especificado en las normas ASTM D6751 o EN14214, pero es descrito en la norma EN14213 con un valor mínimo de 35 MJ/kg [24].

2.1.1.7 Punto de nube

El punto de nube es una importante característica del combustible para su uso a bajas temperaturas. El punto de nube es la temperatura a la que se observa la primera cristalización del combustible cuando es enfriado. Generalmente, el biodiésel tiene un mayor punto de nube que el diésel convencional [16]. Este parámetro es medido de acuerdo con la norma ASTM D2500 [25].

2.1.1.8 Corrosión de tira de cobre

La evaluación de la corrosión del biodiésel en tiras de cobre es un método cualitativo para determinar el nivel de corrosión que puede causar el biocombustible. En esta prueba se mide la tendencia del combustible a corroer materiales como el cobre o el bronce. Para determinar el grado de corrosión del combustible, se sumerge una tira de cobre en biodiésel a 50°C durante 3 h y se compara con muestras estándar, de acuerdo con la norma ASTM D130 [26].

2.1.3 Procesos de producción de biodiésel

2.1.3.1 Catálisis alcalina

Hay varias rutas para la obtención de biodiesel. Uno de los métodos más utilizado es la transesterificación de los triglicéridos con alcoholes de bajo peso molecular en presencia de un catalizador alcalino. Para este proceso es necesario un exceso de alcohol en la presencia del catalizador alcalino para desplazar la reacción a un máximo rendimiento en el producto de biodiésel. La literatura indica que es necesaria una relación molar de metanol de 6 a 1 con respecto al aceite, y una temperatura de reacción de aproximadamente 333.15 K, que se encuentra cerca del punto de ebullición del metanol [27].

La reacción de transesterificación guiada por la vía alcalina, es muy sensible a la presencia de AGL y agua en la materia prima utilizada en el proceso. Cuando se añade un catalizador alcalino a estas materias primas, los AGL reaccionan con el catalizador para formar agua y jabón. La formación de jabón no sólo consume catalizador, sino que también hace posible que se formen emulsiones, las cuales dificultan la recuperación y purificación del biodiésel. Estudios han propuesto que con el fin de maximizar la formación de metil ésteres se recomiendan utilizar los aceites vegetales refinados con un contenido de AGL menor a 0.5% [28]. Adicionalmente, la presencia de agua puede causar la saponificación del éster en condiciones alcalinas, para lo cual el contenido de agua en el aceite debe ser mantenido por debajo del 0.06%.

Los AVR contiene típicamente entre un 2 a 7% de AGL, mientras que las grasas animales contienen de un 5% hasta un 30% de AGL [29]. En estos casos un catalizador ácido, tal como el ácido sulfúrico, se puede usar para la esterificación de los AGL a ésteres metílicos. Los triglicéridos permanecen esencialmente sin convertirse en ésteres debido a la baja relación molar de metanol con respecto al aceite y a los tiempos cortos de residencia en el reactor. La esterificación catalizada por ácido se puede utilizar como una operación de pretratamiento para convertir los AGL en ésteres metílicos, de esta manera reducir el contenido de AGL del aceite crudo [30]. El aceite tratado previamente puede ser transesterificado con un catalizador alcalino para convertir los triglicéridos en ésteres metílicos.

2.1.3.2 Catálisis ácida

La operación de pretratamiento se puede evitar utilizando un catalizador ácido, tal como ácido sulfúrico, para la reacción de transesterificación. Siendo este proceso menos sensible a la presencia de AGL, como la transesterificación catalizada por álcali, y obteniendo mayores rendimientos. Por otra parte, se necesita una mayor relación molar metanol con respecto al aceite para promover conversiones altas de equilibrio de los triglicéridos a ésteres y tiempos mucho más largos de reacción [31]. Estudios informan una conversión de 98.7% en 48 h, a una relación molar de metanol de 30 a 1 con respecto al aceite, y una temperatura de reacción de 333.15 K [32]. Investigaciones posteriores han logrado reducir el tiempo de reacción a 4 h con una conversión del 97%, aunque para este resultado se aumentó la relación molar de metanol de 50 a 1 con respecto al aceite y la temperatura de reacción a 353.15 K [33].

Aunque la reacción de transesterificación catalizada por ácido es un proceso de un solo paso, se basa en un gran exceso de alcohol. En donde los costos de recuperación del mismo, pueden determinar la viabilidad el proceso. Algunos autores realizaron un análisis económico de este proceso, concluyendo que

la transesterificación catalizada por ácido proporciona mayores beneficios económicos que el proceso catalizado por la vía alcalina con un pretratamiento de AGL [34].

2.1.3.3 Catálisis enzimática

Recientemente, se ha encontrado que en la reacción de transesterificación se puede utilizar un catalizador enzimático, como la lipasa. Al no producir subproductos, la purificación del producto es fácil, asimismo se puede recuperar el catalizador y reutilizarse. Sin embargo, el costo de los catalizadores enzimáticos es alto [35]. La reacción enzimática es insensible al agua y el contenido de AGL en la materia prima [36]. Se han realizado estudios compartidos del proceso de transesterificación enzimática y alcalino en la producción de biodiésel. Se encontró que al utilizar un biocatalizador se puede producir biodiésel de muy alta pureza, aplicando menores o ningún proceso de purificación en comparación con los catalizadores alcalinos [37].

Entre algunos factores que tienen una influencia significativa en la producción de biodiésel con lipasa, se encuentran el tipo de alcohol, la relación molar del mismo con el aceite y el tipo de lipasa. Hay diferentes tipos de lipasas que se pueden utilizar como catalizador, tales como: *Rhizopus oryzae*, *Candida rugosa*, *Pseudomonas fluorescens*, *Burkholderia*, *Cepacia*, *Aspergillus niger*, *lanuginosa Thermomyces* y *Rhizomucormiehei* [38].

La cantidad de agua, temperatura y pH, son factores adicionales que afectan el rendimiento [39]. Hay informes de que hay una cantidad mínima de agua necesaria para activar las enzimas, debido a que la actividad enzimática disminuye en presencia de grandes cantidades de agua. Esto significa que la cantidad de agua por proceso debe estar entre 0.1 y 20% [40]. El impacto del agua en el método enzimático infiere que la lipasa actúa entre las fases acuosa y orgánica. El aumento de la temperatura inicialmente aumentaría la velocidad de reacción, pero la eficacia puede ser reducida y la reacción limitada por la transferencia de masa, haciendo que la velocidad de reacción disminuya drásticamente a alta temperatura [41].

En el método enzimático, una solución tampón aumenta la producción general. *Pseudomonas cepacia* tiene un pH alto, de aproximadamente 7, y esta propiedad hace que sea más fácil de utilizar en comparación con otros tipos de lipasa y se debe utilizar cada vez que un investigador quiere producir un alto rendimiento sin ajuste de pH [42].

2.1.3.4 Proceso en condiciones súper críticas

Durante la última década, el método de transesterificación supercrítico para la producción de biodiésel, un proceso llevado a cabo a temperaturas de 280 a 400°C y presiones en el intervalo de 10 a 30 MPa, ha sido ampliamente estudiado y propuesto como una alternativa a los métodos convencionales para la producción de biodiésel [43]. Este método se aprovecha de la fase homogénea, que se forma en condiciones supercríticas de la mezcla de alcohol y los triglicéridos, la promoción de reacciones de transesterificación rápidas de triglicéridos y esterificación simultánea de AGL sin la necesidad de un catalizador [44]. Por lo tanto, este método puede procesar cualquier tipo de material de triglicéridos, tales como grasas animales y AVR, que son difíciles o inviables para procesar a través de métodos de producción de biodiésel convencionales [45].

Sin embargo, la alta relación molar de metanol con respecto a las triglicéridos, por lo general 42:1, ha sido uno de los mayores obstáculos para el desarrollo del método de transesterificación supercrítico a un nivel industrial. Debido a los altos costos en el bombeo, precalentamiento y recuperación del metanol. Algunos autores atribuyen el uso de altas proporciones de alcohol a la necesidad de promover el desplazamiento del equilibrio químico de la reacción [46]. Recientemente, se han presentado pruebas de que el papel real de exceso de metanol es disminuir la temperatura a la que se alcanzan las condiciones de estado supercrítico. Esto es mejor que un desplazamiento hacia el lado derecho del equilibrio químico, que en casi todos los estudios llevados a cabo a temperaturas de entre 573.15 K y 598.15 K se produce a una relación molar de 42:1 [47]. Las condiciones de estado supercrítico podrían alcanzarse en una relación molar más baja si se usa una temperatura de reacción más alta [48]. Sin embargo, se ha sugerido que las reacciones de descomposición a temperaturas superiores a 623.15 K podrían afectar la calidad del biodiésel [49].

Estudios más recientes, han demostrado que no sólo el biodiésel puede ser producido eficazmente a temperaturas superiores a 623.15 K sin afectar a la calidad del combustible, sino también que el glicerol podría ser descompuesto a varios subproductos, que tienen el potencial para ser utilizado como parte del combustible [50]. Como por ejemplo, varios ésteres metílicos de cadena corta, así como alcanos y alquenos lineales que son producidos por la descomposición térmica de los ésteres metílicos insaturados de cadena larga (C18: 2, C18: 3) [51]. Al mismo tiempo, el glicerol se puede descomponer a glicerol de dimetilo y trimetil éteres. Aunque un análisis completo del combustible obtenido no se llevó a cabo, la naturaleza de los productos de descomposición identificados sugiere que en el proceso supercrítico a estas condiciones no se deteriora la calidad del biodiésel. Además, el subproducto glicerol se ha convertido en

un problema de los residuos y su descomposición simultánea con la producción de biodiésel es muy atractivo a nivel industrial [52].

2.2 Energía solar

La energía solar tiene un enorme potencial como fuente de energía limpia, abundante y económica, pero no se puede emplear como tal. Esta debe ser capturada y convertida en formas útiles de energía, como calor y electricidad. La cantidad y calidad de la energía solar varía dependiendo la ubicación y el tiempo, en modos que no son totalmente predecibles. Debido a que la energía solar es difusa e intermitente, la conversión debe implicar la concentración y almacenamiento. Actualmente, ninguna de las muchas rutas que se utilizan para convertir la energía solar en calor, electricidad y combustible es competitiva con los precios del mercado mundial de combustibles fósiles en la actualidad. Sin embargo, si los costos "externos" de energía a partir de combustibles fósiles se consideraron, la comparación de costos daría resultados muy diferentes [53].

2.2.1 Radiación solar

Cada segundo, el sol convierte más de cuatro millones de toneladas de su propia masa en energía, produciendo neutrinos y radiación solar, radiada en todas direcciones. Una pequeña fracción de esta energía, cae sobre la superficie terrestre después de un viaje de 150 millones de kilómetros, lo que le toma poco más de 8 minutos. La radiación solar, es la cantidad de potencia que el sol deposita por unidad de área que está directamente expuesta y perpendicular al sol, a la distancia que se encuentra la tierra del sol, esta radiación es $1,368 \text{ W/m}^2$. Esta medida es llamada constante solar. Sin embargo, los rayos de sol en la superficie de nuestro planeta son atenuados por la atmósfera dejando pasar menos radiación a la superficie terrestre. Nuestro planeta no es un disco, sino una especie de esfera girando. Como consecuencia de esto, la energía recibida del sol en promedio en el año y en la superficie del globo es un cuarto de $1,368 \text{ W/m}^2$, es decir, 342 W/m^2 . De estos 342 W/m^2 aproximadamente 77 W/m^2 son reflejados de regreso al espacio por las nubes, aerosoles y la atmósfera, y 67 W/m^2 son absorbidos por la atmósfera. Restando 198 W/m^2 , cerca del 57% del total, llega a la superficie en promedio [54].

La radiación solar que llega a la superficie terrestre tiene dos componentes: radiación directa, la cual viene directamente del sol; y radiación difusa, la cual viene indirectamente. La radiación directa crea sombras, la difusa no. La radiación directa es casualmente experimentada como rayos de sol, una combinación de luz brillante y calor radiante. La radiación difusa es experimentada como luz de día. En cualquier

dispositivo solar se debe tomar en cuenta también un tercer componente, la radiación difusa reflejada por el suelo. El termino radiación solar global se refiere a la suma de los componentes de la radiación solar, directa y difusa. En total, el sol ofrece una considerable cantidad de energía: cerca de 885 millones de terawatts hora (TWh) alcanzan la superficie terrestre en un año, esto es 6,200 veces la energía primaria comercial consumida por la humanidad en 2008 y 4,200 veces la energía que la humanidad consumirá en 2035 de acuerdo con el escenario de políticas actuales de la agencia internacional de energía (IEA por sus siglas en inglés) [55].

Aunque considerable, el recurso solar no es constante. Este varía de acuerdo con el día, el año y por la ubicación. En gran parte, estas variaciones resultan directamente por la geografía terrestre y por sus movimientos astronómicos. Todos los lugares en la tierra tienen las mismas 4,380 horas de luz por año. Sin embargo, la energía recibida desde el sol varía anualmente en promedio. El eje de la tierra está inclinado 23.45° con respecto al plano que se forma por la órbita alrededor del sol. Esta inclinación es la que maneja las estaciones. Como resultado se tienen días más largos y el sol se encuentra más alto en el cielo, desde el equinoccio de marzo al equinoccio de septiembre en el hemisferio norte, y del equinoccio de septiembre al equinoccio de marzo en el hemisferio sur. Cuando el sol está más abajo en el cielo, su energía es dispersada sobre una mayor área, siendo esta más débil por unidad de área [56].

La radiación global en superficies horizontales (GHI por sus siglas en inglés) es la medición de la densidad del recurso solar disponible por unidad de área. GHI puede ser utilizada para definir un ángulo de inclinación “óptimo” para colectores. Es decir, para superficies receptoras de energía solar, orientadas hacia el ecuador inclinada para maximizar la energía recibida en el año. La inclinación de colectores logra incrementar la radiación captada por unidad área hasta un 35% o cerca de $500 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$, especialmente por latitudes menores a 30°S y mayores a 30°N . La inclinación óptima es usualmente considerada como la latitud de la locación del colector, de esta manera la superficie receptora está posicionada de manera perpendicular a los rayos del sol en promedio a lo largo del año. Sin embargo, cuando la radiación difusa es importante, notablemente en Europa del norte y en el sur de Latino América, el ángulo de inclinación que maximiza la radiación captada puede ser hasta 15° menor que la latitud. El ángulo de inclinación económicamente óptimo varia dependiendo del tipo de aplicación y del impacto del ángulo de inclinación en el costo de la inversión total [57].

La respectiva proporción de radiación directa y difusa es de gran importancia para la captación de energía solar y tiene muchas implicaciones prácticas. Tecnologías que no concentran la energía solar toman

ventaja de la radiación global, directa y difusa y no necesitan seguimiento solar. Cuando la radiación directa es importante en una locación, se podría querer concentrar los rayos solares, usualmente por reflexión de un área mayor a una pequeña. La principal razón para hacer esto es incrementar el flujo de energía por área de colector y así aumentar la eficiencia de la captación y conversión de la energía solar. Sin embargo, altos factores de concentración requieren un seguimiento más preciso del sol, lo cual implica un mayor costo. En cualquier caso, las tecnologías de concentración permiten ser utilizadas únicamente donde la radiación directa sea mayormente dominante, en países mayormente soleados donde el cielo se encuentra mayormente despejado, en zonas calientes y áridas o semiáridas del planeta. Estos serían los lugares ideales para plantas de potencia por concentración solar (CSP por sus siglas en inglés), concentradores fotovoltaicos (CPV por sus siglas en inglés), pero también para la manufactura de combustibles solares y por supuesto otros usos industriales para el calor solar de alta temperatura [55].

2.2.2 Tecnologías

La energía de la radiación solar permite ser fácilmente transformada en calor a través de la absorción en materiales gaseosos, líquidos o sólidos. El calor es utilizado para confort, en calentamiento de agua para uso sanitario o calentamiento de agua de albercas, para evaporación de agua y secado, así como también calentamiento de espacios. El calor también logra ser transformado en trabajo mecánico o eléctrico, y puede facilitar o conducir transformaciones físicas o químicas, así como procesos industriales o la manufactura de diversas formas de energía como combustibles. También, la radiación solar se representa como un flujo electromagnético de partículas o fotones. Los fotones provenientes del sol son altamente energéticos y permiten promover fotorreacciones como en la fotosíntesis y generar una conducción de electrones en un semiconductor, permitiendo la conversión fotovoltaica de los rayos solares en electricidad. Otras fotorreacciones son utilizadas, por ejemplo la detoxificación fotocatalítica del agua [58].

Es de resaltar que los dos métodos fundamentales para capturar la energía del sol, calor y fotorreacción, pueden ser combinados de muchas maneras para entregar diversas formas de energía. De esta manera, a partir de dos básicas formas de capturar la radiación solar, se distinguen cuatro aplicaciones principales: electricidad fotovoltaica, calentamiento (y enfriamiento), electricidad termosolar y manufactura solar de combustibles.

2.2.2.1 Electricidad fotovoltaica

Las celdas fotovoltaicas (PV por sus siglas en inglés) son dispositivos semiconductores que permiten a los fotones generar una corriente directa de electricidad. Estas celdas son interconectadas para formar módulos PV con una capacidad de generar cientos de watts de potencia. Los módulos PV son combinados para formar sistemas PV. Los sistemas PV pueden ser utilizados interconectados a la red de suministro de energía eléctrica o desconectados. Los sistemas desconectados de la red pueden o no requerir dispositivos de almacenamiento de energía, como baterías para el almacenamiento de energía de respaldo. Los sistemas PV, usualmente requieren inversores que transformen la corriente directa a corriente alterna, la cual es mucho más utilizada. Estos sistemas también requieren una serie de componentes como transformadores, dispositivos de protección eléctrica, cableado y equipo de monitoreo. Aunado a esto, los sistemas requieren diversos componentes estructurales para la instalación de los módulos PV, como marcos para el montaje fijo y sistemas de seguimiento solar, de ser requerido [59].

2.2.2.2 Calentamiento

Los dispositivos para la captación de energía solar como calor, esencialmente cuentan con una superficie receptora de luz solar, sea esta directa o difusa. La absorción de rayos solares calienta estas superficies. Para absorber la mayor cantidad de radiación posible, el color ideal para estas superficies es el negro. Los dispositivos más simples, llamados colectores no reflejantes, son utilizados para el calentamiento de albercas o regaderas al aire libre, estos colectores son simples tuberías de color negro distribuidas en el suelo o instaladas en la estructura de la regadera. Los colectores no reflejantes también pueden calentar aire. Para aplicaciones a alta temperatura, se pueden utilizar colectores de placa plana o tubos evacuados. Colectores avanzados de placa plana y colectores parabólicos compuestos (CPC por sus siglas en inglés) permiten trabajar a temperaturas de 100°C a 160°C. Colectores concentradores, como: Fresnel, parabólicos lineales, platos parabólicos, torres centrales, hornos; permiten temperaturas mucho mayores, hasta 2,500°C [60].

El costo actual del calentamiento solar es más difícil de definir que otras aplicaciones de la energía solar, debido a que depende no sólo del recurso solar y de la tecnología, sino también del uso efectivo del calor colectado, lo cual puede variar significativamente.

2.2.2.3 Electricidad termosolar

Concentrar los rayos solares permite obtener temperaturas de trabajo suficientemente altas con una buena eficiencia de colección. Esto permite una mayor eficiencia en la conversión del calor en un movimiento mecánico y así en electricidad. Las plantas de potencia termosolar están basadas en las tecnologías para la captación de energía solar como calor, principalmente colectores parabólicos lineales y torres centrales. Todas las plantas de colectores parabólicos lineales en actual operación comercial utilizan aceites sintéticos como fluido de transferencia de calor desde los colectores hasta intercambiadores de calor, donde agua es precalentada, evaporada y sobrecalentada. El vapor sobrecalentado acciona una turbina la cual acciona un generador que produce electricidad. Después de ser enfriada y condensada, el agua regresa a los intercambiadores de calor. Los colectores parabólicos lineales son la tecnología más madura de CSP y conforman la mayor parte de las plantas comerciales de generación de potencia en el mundo. La inversión y los costos de operación están siendo dramáticamente reducidos, además de que su desempeño está siendo mejorado, desde la primer planta construida en la década de 1980 [61].

La mayor cantidad de las plantas de primera generación, cuentan con un pequeño o ninguna clase de almacenamiento de energía térmica, dependiendo así en su totalidad de combustibles para la generación de energía de respaldo. Las plantas CSP en España producen del 12% al 15% de su generación de energía anual a partir de la quema de gas natural. Más del 60% de las plantas construidas o en construcción en España, cuentan con una capacidad significativa de almacenamiento de energía térmica, basada en sistema de tanque de sales fundidas. Más allá de aumentar las mejoras en tamaño, desempeño o costo; los colectores parabólicos lineales podrán experimentar un cambio significativo si se puede utilizar otro fluido de trabajo que reemplace a los aceites sintéticos, los cuales limitan las temperaturas de trabajo a menos de 390°C [55].

2.2.2.4 Manufactura solar de combustibles

Los combustibles solares se hacen generalmente del hidrógeno. El hidrógeno puede producirse electrolizando agua, y si la electricidad es de origen solar, se puede considerar "hidrógeno solar". La producción de hidrógeno solar a través de la electrólisis del agua mediante la electricidad generada por energía solar ofrece una eficiencia global solar-hidrógeno de alrededor del 10% con las tecnologías actuales. Calentar el agua antes de que se electrolice es un medio eficaz de reducir la cantidad requerida de electricidad, y esto también se puede hacer con energía solar, aumentando así la eficiencia de la conversión de electricidad en hidrógeno. Las tecnologías de concentración solar permiten producir

hidrógeno, ya sea a partir de agua pura, o de una materia prima carbonosa, siguiendo diversas rutas. Las torres solares son los candidatos más obvios para entregar el calor requerido de alta temperatura. La eficiencia teórica máxima de un proceso de conversión de energía tan sólo está limitada por la eficiencia de Carnot de un motor térmico equivalente: con la superficie del sol como un depósito térmico de 5,800 K y la tierra como sumidero térmico, el 95% de la energía solar podría en teoría, convertirse en la energía química de los combustibles. En la práctica, sin embargo, se utilizarán temperaturas más bajas por las limitaciones de los materiales [62].

2.2.3 Aplicaciones industriales

Si una mayor parte de la electricidad de la red proviene de las energías renovables en general y de la energía solar en particular, también lo será la electricidad consumida en la industria. Una manera de obtener más energía solar y renovables en la mezcla energética industrial es, por lo tanto, desarrollar usos eficientes de la electricidad para desplazar los usos de los combustibles fósiles. Actualmente, existen muchas tecnologías que pueden reemplazar los combustibles fósiles por una gran diversidad de procesos industriales. A menudo, la conversión de un proceso en electricidad mejora el control del proceso y la productividad. En muchos casos, las aplicaciones de calefacción eléctrica son más eficientes desde el punto de vista energético que sus alternativas, especialmente a altas temperaturas. La eficiencia óptima de un horno eléctrico puede llegar hasta el 95%, mientras que el equivalente para un horno de gas es sólo del 40% al 80% [63].

El calor de proceso es el principal consumidor de energía del sector energético. El calor a baja temperatura es el 30%, el calor a alta temperatura el 43% y el calor a temperatura media el 27%. Otros estudios sugieren que aproximadamente dos tercios del calor en el rango de 100°C a 400°C se utiliza en la industria a niveles de temperatura inferiores a 200°C. Otros estudios realizados en varios países diferencian el calor de temperatura baja y media como superior e inferior a 160°C para determinados sectores de la industria. Esto es muy útil para un proceso de baja emisión de carbono, ya que el calor del proceso por debajo de 160°C puede ser proporcionado por los colectores solares térmicos en la mayoría de los casos, aunque la rentabilidad depende del recurso solar global (directo y difuso). Las áreas de aplicación actuales más significativas están en los alimentos y bebidas. Industrias, industrias textiles y químicas y para procesos de limpieza simples, en donde los colectores simples, pueden proporcionar la temperatura deseada de 50°C a 90°C. En algunos casos se combinan varios usos: la empresa de transporte Hammerer en Austria utiliza agua caliente solar para limpiar contenedores de transporte, así como para el calentamiento de sus oficinas

[64].

La refrigeración solar con sistemas de absorción es una aplicación muy especial del calor solar en la industria. Integrado en todo el sistema energético de la planta industrial, podría ofrecer oportunidades especiales en la industria alimentaria [65].

La limpieza es un proceso que ocurre en muchas formas. La limpieza de botellas, latas, barriletes y equipos de proceso es la parte que más energía consume en la industria alimentaria. Las plantas de tratamiento de metales tienen procesos de limpieza para partes y superficies. La industria textil y las lavanderías limpian telas; estaciones de servicio limpian coches. Todos ellos necesitan agua caliente a temperaturas por debajo de 100°C e incluso por debajo de 60°C, por lo que proporcionan una excelente aplicación para la energía solar térmica. El almacenamiento y la integración en el sistema de suministro de calor existente es bastante fácil en estos casos ya que muy a menudo los tanques de almacenamiento ya existen y el agua es el medio principal [64].

La mayoría de los procesos de lavado requieren secado posterior, que también es muy intensivo en energía. Aunque el medio de secado será el aire caliente en general, se puede calentar a través de intercambiadores de calor de agua/aire. Los colectores solares de aire representan otra opción, especialmente desarrollada en la India para secado de cultivos, procesamiento de alimentos y sectores de fabricación de textiles. El secado de cultivos es una alternativa eficaz al enfriamiento para la conservación, particularmente en un país donde se pierden grandes cantidades de cultivos por falta de técnicas de conservación.

La evaporación es una forma de secado y ambos implican un componente volátil que cambia la fase a través de la entrada de energía. Las aplicaciones se pueden encontrar principalmente en la industria alimentaria y las industrias químicas. La pasteurización y la esterilización necesitan calor de 75°C y 105°C respectivamente. En la industria alimentaria y la bioquímica existen numerosas aplicaciones. Con los líquidos, la pasteurización se puede realizar en los intercambiadores de calor, pero para los sólidos (latas o frascos), se requiere un medio de transferencia de calor tal como agua, aire o vapor. Precalentar el agua de alimentación de la caldera es otra posible aplicación para el calor solar en la industria de proceso. Dado que se trata de un disipador térmico de baja temperatura, la energía solar se adapta muy bien, pero puede haber otras fuentes de calor menos costosas disponibles para este proceso. El calentamiento de las salas de producción es necesario en muchos países durante el invierno. Aunque el calentamiento no es puramente una aplicación industrial, pueden surgir problemas especiales al utilizar el sistema de

suministro de calor para ambos procesos y para el calentamiento del espacio [65].

El calor de proceso a alta temperatura es diferente. En áreas con un buen DNI, el calor solar se puede proporcionar a cualquier nivel de temperatura, con sistemas solares concentradores, cuyo uso se ha sugerido para muchos procesos industriales, desde procesos de conformación hasta tratamiento térmico de petróleo crudo. Los colectores parabólicos lineales han sido los dispositivos más utilizados para el calor del proceso industrial por debajo de 400°C, principalmente para las industrias alimenticias o textiles. Por ejemplo, la fábrica Frito-Lay en Modesto, California, utiliza 5,065 m² de canales parabólicos en 1,5 ha para suministrar agua a presión a 250°C. El vapor generado calienta el aceite usado para freír patatas y virutas de maíz. En la India, algunas lavanderías están equipadas con varios platos Scheffler, conectados con las calderas existentes, para proporcionar vapor para el lavado y la limpieza. En Egipto, una compañía farmacéutica hace algún tiempo instaló colectores parabólicos lineales para producir la mayor parte de su calor de proceso [66].

2.3 Software de simulación

2.3.1 ASPEN PLUS®

ASPEN PLUS® es un software de modelado de procesos adecuados para una variedad de aplicaciones de estado estacionario. El sistema de ASPEN se basa en "bloques" que corresponden a operaciones unitarias, así como reactores químicos, el cual permite simular la mayoría de las operaciones industriales. Es posible, construir un diagrama de flujo de proceso completo, mediante la interconexión de los bloques usando corrientes de materia, trabajo y calor. ASPEN PLUS® incluye varias bases de datos que contienen datos físicos, químicos y termodinámicos para una amplia variedad de compuestos, así como una selección de modelos termodinámicos necesarios para la simulación exacta de cualquier sistema químico dado. La simulación se lleva a cabo especificando: (1) los caudales, composiciones y condiciones de funcionamiento de las corrientes de entrada; (2) las condiciones de funcionamiento de los bloques utilizados en el proceso, por ejemplo, temperatura, presión, número de etapas y (3) entradas de calor y/o de trabajo en el proceso. Sobre la base de estos datos, ASPEN PLUS® calcula caudales, composiciones y condiciones de estado de todas las corrientes de materia de salida, así como el calor y el trabajo de salida de todas las corrientes de calor y trabajo [67]. ASPEN PLUS® es ampliamente utilizado para la simulación de procesos en diferentes industrias por ejemplo, petróleo y gas, química, ingeniería y construcción, productos farmacéuticos, alimentos, bebidas, entre otros [68].

2.3.2 TRNSYS®

TRNSYS® es un acrónimo de “transient simulation” (que en se traduce al español como "simulación transitoria"), el cual es un modelo de simulación cuasi-estacionario. Este programa fue desarrollado por la Universidad de Wisconsin por los miembros del Laboratorio de Energía Solar [69]. El programa se compone de muchas subrutinas que forman los componentes del subsistema. Los componentes del subsistema en TRNSYS® incluyen colectores solares, controladores diferenciales, bombas, calentadores auxiliares, cargas de calefacción y refrigeración, termostatos, válvulas de seguridad, depósitos de agua caliente, bombas de calor y muchos más. También hay subrutinas para el procesamiento de datos de radiación, para la realización de integración de datos, y gastos de entrada y salida. Intervalos de tiempo de hasta 1/1000 h (3,6 s) se pueden utilizar para la lectura de datos de clima, lo que hace que el programa sea muy flexible en cuanto a la utilización de los datos medidos en las simulaciones [70].

TRNSYS® se ha utilizado en la evaluación de las tecnologías solares, incluyendo sus diferentes parámetros de diseño y condiciones de funcionamiento de una ubicación específica, con el fin de obtener resultados fiables [71-74].

Referencias

1. Martínez, N. Sánchez, J.M. Encinar, J.F. González, “Fuel properties of biodiesel from vegetable oils and oil mixtures. Influence of methyl esters distribution”, *biomass and bioenergy*, Vol.63, p.22-32, 2014.
2. Nogueira Luiz A.H, “Does biodiesel make sense?”, *Energy*, Vol.36, p. 3659-3666, 2011.
3. Santori Giulio, Giovanni Di Nicola, Matteo Moglie, Fabio Polonara, “A review analyzing the industrial biodiesel production practice starting from vegetable oil refining”, *Applied Energy*, Vol.92, p.109–132, 2012.
4. Montero Gisela, Margarita Stoytcheva, Conrado García, Marcos Coronado, Lydia Toscano, Héctor Campbell, Armando Pérez, Ana Vázquez, “Current Status of Biodiesel Production in Baja California, Mexico”, In: M. Gisela (Ed.), *Biodiesel: quality, emissions and by-products*, InTech, Croatia, 2011, pp. 137-152, ISBN 978-953-307-784-0.
5. Marmesat S, Macado RE, Velasco J, Dorbangarnes MC., “Used frying fats and oils. Comparison of rapid tests based on chemical and physical oil properties”, *Int J Food Sci Technol*, Vol. 42, pp. 601-608, 2007.
6. Goering CE, Schwab AW, Daugherty MJ, Pryde EH, Heakin AJ., “Fuel properties of Elven vegetable oils”, *Trans ASAE*, Vol. 85, pp. 1472-1483, 1982.
7. Sharma YC, Singh B, Upadhyay SN. “Advancements in development and characterization of biodiesel: a review”. *Fuel*, Vol. 87, pp. 2355-2373, 2008.
8. Lam MK, Lee KT. “Renewable and sustainable bioenergies production from palm oil mill effluent (POME): win-win strategies toward better environmental protection.”, *Biotechnol Adv*, Vol. 29, pp. 124-141, 2011.
9. Alcantara R, Amores J, Canoira L, Fidalgo E, Franco M, Navarro A. “Catalytic production of biodiesel from soy-bean oil, used frying oil and tallow.”, *Biomass Bioenergy*, Vol.18, p.515-27, 2000.
10. Helwani Z, Othman M, Aziz N, Fernando W, Kim J., “Technologies for production of biodiesel focusing on green catalytic techniques: a review.”, *Fuel Process Technol*, Vol.90, p.1502-14, 2009.
11. Tan T, Shang F, Zhang X., “Current development of biorefinery in China”, *Biotechnol Adv* Vol.28, p.543-55, 2010.
12. Marchetti J, Errazu A. “Technoeconomic study of supercritical biodiesel production plant”, *Energy Convers Manage*, Vol.49, p.2160-4, 2008.
13. ASTM D6751-02: American Society for Testing and Materials. Standard specification for biodiesel fuel (B100) blend stock for distillate fuels, designation, ASTM International, West Conshohocken, PA; 2002. www.astm.org
14. EN 14214:2003: Automotive fuels - fatty acid methyl esters (fame) for diesel engines - requirements and test methods; 2003.
15. ASTM D1298-2b: American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Density, Relative Density, or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method, ASTM international, West Conshohocken, PA, 2012, www.astm.org
16. Bhuiya MMK, et al. Prospects of 2nd generation biodiesel as a sustainable fuel – Part 2: Properties, performance and emission characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.086i>
17. ASTM D445-15, Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org

18. ASTM D664-11a, Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, www.astm.org
19. Abdullah Abuhabaya, John Fieldhouse, David Brown, “Influence of production variables for biodiesel synthesis on yields and fuel properties, and optimization of production conditions”, *Fuel*, Vol.103, p.963–969, 2013.
20. ASTM D613-15ae1, Standard Test Method for Cetane Number of Diesel Fuel Oil, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org
21. Ahmad Abbaszaadeh, Barat Ghobadian, Mohammad Reza Omidkhah, Gholamhassan Najafi, “Current biodiesel production technologies: A comparative review”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 63, p.138–148, 2012.
22. ASTM D93-15a, Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org
23. Jinlin Xue, “Combustion characteristics, engine performances and emissions of waste edible oil biodiesel in diesel engine”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 23, p.350–365, 2013.
24. EN 14213:2003: Heating fuels. Fatty acid methyl esters (FABiodiesel). Requirements and test methods; 2003.
25. ASTM D2500-11, Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, www.astm.org
26. ASTM D130-12, Standard Test Method for Corrosiveness to Copper from Petroleum Products by Copper Strip Test, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, www.astm.org
27. E.M. Shahid, Y. Jamal, “Production of biodiesel: a technical review”, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, Vol.15, pp. 4732–4745, 2011.
28. L.C. Meher, D.V. Sagar, S.N. Naik, “Technical aspects of biodiesel production by transesterification — a review”, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, Vol.10, pp. 248–268, 2006.
29. Van Gerpen, J., “Biodiesel processing and production.”, *Fuel Process. Technol.* Vol.86, pp. 1097-1107, 2005.
30. U. Rashid, F. Anwar, “Production of Biodiesel through Optimized Alkaline-Catalyzed Transesterification of Rapeseed Oil”, *Fuel*, Vol. 87, pp. 265–273, 2007.
31. D.Y.C. Leung, X. Wu, M.K.H. Leung, “A review on biodiesel production using catalyzed transesterification”, *Applied Energy*, Vol. 87, pp. 1083–1095, 2010.
32. Canacki, M., Van Gerpen, J., “Biodiesel production via acid catalysis. Trans.”, *ASAE* 42, Vol. 5, pp. 1203-1210, 1999.
33. Zhang, Y., Dubé, M.A., McLean, D.D., Kates, M., “Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment.” *Bioresour. Technol*, Vol. 89, pp. 1-16, 2003.
34. Zheng, S., Kate, M., Dubé, M.A., McLean, D.D., “Acid-catalyzed production of biodiesel from waste frying oil.”, *Biomass Bioenergy*, Vol. 30, pp. 267-272. 2006. 6.
35. F. Ma, M.A. Hanna, “Biodiesel production: a review”, *Bioresour Technol*, Vol. 70, pp. 1–15, 1999.
36. L.P. Christopher, V.P. Zambare, “Enzymatic biodiesel: challenges and opportunities”, *Appl Energy*, Vol. 119, pp. 497–520, 2014.
37. I.M. Atadashi, M.K. Aroua, A.R. Abdul Aziz, N.M.N. Sulaiman, “Production of biodiesel using high free fatty acid feedstocks”, *Renew Sustain Energy Rev*, Vol. 16, pp. 3275–3285, 2012.

38. A. Ghaly, D. Dave, M.S. Brooks, S. Budge, "Production of biodiesel by enzymatic transesterification: review", *Am J Biochem Biotechnol*, Vol. 6, pp. 54–76, 2010.
39. S.V. Ranganathan, S.L. Narasimhan, K. Muthukumar, "An overview of enzymatic production of biodiesel", *Bioresour Technol*, Vol. 99, pp. 3975–3981, 2008.
40. Shimada Y, Watanabe Y, Samukawa T, Sugihara A, Noda H, Fukuda H, et al. "Conversion of vegetable oil biodiesel using immobilized *Candida antarctica* lipase.", *J Am Oil Chem Soc*, Vol. 76, pp. 789–93, 1999.
41. Al-Zuhair S, Hasan M, Ramachandran KB. "Kinetic hydrolysis of palm oil using lipase.", *Process Biochem*, Vol, 38, pp. 1155–63, 2003.
42. Sheedlo M. "A review of the processes of biodiesel production.", *Basic Biotechnol E – J*, Vol. 4, pp. 61–65, 2008.
43. G.T. Ang, K.T. Tan, K.T. Lee, "Recent development and economic analysis of glycerol-free processes via supercritical fluid transesterification for biodiesel production", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Vol. 31, pp. 61–70, 2014.
44. S. Saka, D. Kusdiana, "Biodiesel fuel from rapeseed oil as prepared in supercritical metanol", *Fuel*, Vol. 80, pp. 225–231, 2001.
45. J.M.N. van Kasteren, A.P. Nisworo, "A process model to estimate the cost of industrial scale biodiesel production from waste cooking oil by supercritical transesterification", *Resour. Conserv. Recycl.*, Vol. 50, pp. 442–458, 2007.
46. Pinnarat, T., Savage, P.E., "Assessment of noncatalytic biodiesel synthesis using supercritical reaction conditions", *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 47, pp. 6801-6808, 2008.
47. Animescu, G., Deshpande, A., Tavlarides, L.L., "Integrated technology for supercritical biodiesel production and power cogeneration", *Energy Fuels*, Vol. 22, pp. 1391-1399, 2008.
48. Bunyakiat, K., Makmee, S., Sawangkeaw, R., Ngamprasertsith, S., "Continuous production of biodiesel via transesterification from vegetable oils in supercritical metanol", *Energy Fuels*, Vol. 20, pp. 812-817, 2006.
49. Imahara, H., Minami, E., Hari, S., Saka, S., "Thermal stability of biodiesel in supercritical metanol" *Fuel*, Vol. 87, pp. 1-6, 2008.
50. Marulanda, V.F., Animescu, G., Tavlarides, L.L., "Biodiesel fuels through a continuous flow process of chicken fat supercritical transesterification", *Energy Fuels*, Vol. 24, pp. 253-260, 2010.
51. Marulanda, V.F., Animescu, G., Tavlarides, L.L., "Investigations on supercritical transesterification of chicken fat for biodiesel production from low-cost lipid feedstocks", *J. Supercrit. Fluids*, Vol. 54, pp. 53-60, 2010.
52. Puneet Verma, M.P. Sharma, "Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 62, pp. 1063–1071, 2016.
53. N. Armaroli, V. Balzani, "The future of energy supply: challenges and opportunities, *Angew*". *Chem. Int. Ed.*, Vol. 46, pp.52–66, 2007.
54. W. Hermann, "Quantifying global exergy resources", *Energy*, 31(12), 2006, p. 1349
55. International Energy Agency, "Solar Energy Perspectives", www.iea.org, 2011.
56. V. Smil, "Energies", ed. The MIT Press, Cambridge (MA), 1999
57. H.M. Shafey, I.M. Ismail, "Thermodynamics of the conversion of solar radiation", *Journal of Solar Energy Engineering*, 112, 1990, p. 140
58. Department of Energy, "DOE Solar Energy Technologies Program Overview", DOE/GO-102006-2314, Mayo, 2006.

59. V.M. Fthenakis, “Overview of potential hazards”, capítulo VII-2, T. Markvart, L. Castaner, “Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications”, ed. Elsevier, 2003.
60. H. Price, E. Lüpfer, D. Kearney, E. Zarza, G. Cohen, R. Gee, R. Mahoney, “Advances in parabolic trough solar power technology”, *Journal of Solar Energy Engineering*, 124, p. 109, 2002.
61. Sergeant & Lundy LLC Consulting Group - Chicago (IL), H. Price – NREL, “Assessment of parabolic trough and power tower solar technology cost and performance forecasts”, NREL report NREL/SR-550-34440, 2003
62. M. Oelgemöller, C. Jung, J. Ortner, J. Mattay, C. Schiel, E. Zimmermann, “Back to the roofs – the solarchemical production of fine chemicals with sunlight”, *Proc. 2004 International Solar Energy Conference (ISEC 2004)*, Portland (OR), 2004
63. International renewable energy agency, “Solar Heat for Industrial Processes”, IEA-ETSAP and IRENA® Technology Brief E21 – Enero, 2015.
64. Norton B. Solar process heat: distillation, drying, agricultural and industrial uses. In: *Proceedings of ISES solar world congress 1999*. Jerusalem, Israel; 1999. p. 1334–38
65. Kalogirou Soteris. The potential of solar industrial process heat applications. *Apply Energy* 2003;76:337–61.
66. Fernandez-Garcia A, Zarza E, Valenzuela L, Perez. Parabolic trough solar collector and their applications. *Renew Sustain Energy Rev* 2010;14:1695–721.
67. Ligang Zheng, Edward Furimsky, ASPEN simulation of cogeneration plants, *Energy Conversion and Management*, 44 (2003) 1845–1851.
68. ASPEN PLUS software, Aspen Tech, <https://www.aspentech.com/>
69. TRNSYS Program Manual. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA; 1996. <http://www.trnsys.com/>
70. Soteris A. Kalogirou, Solar thermal collectors and applications, *Progress in energy and combustion science*, 30 (2004) 231-295.
71. W. A. Beckman, L. Broman, A. Fiksel, S. A. Klein, E. Lindberg, M. Schuler, J. Thornton, TRNSYS The most complete solar energy system modeling and simulation software, *Renewable Energy*, 5 (1994) 486–488.
72. S. Sinha, S.S. Chandel, Review of software tools for hybrid renewable energy systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32 (2014) 192–205.
73. A. Hobbi, K. Siddiqui, Optimal design of a forced circulation solar water heating system for a residential unit in cold climate using TRNSYS, *Solar energy*, 83 (2009) 700-714.
74. Soteris A. Kalogirou, Use of TRNSYS for modeling and simulation of a hybrid pv-thermal solar system for Cyprus, *Renewable energy*, 23 (2001) 247-260.

3. Metodología

3.1 Metodología general

Con el objetivo de disminuir el consumo de combustibles fósiles por la energía requerida por el proceso de producción de biodiésel, se suministra al proceso la mayor cantidad de energía posible por medio de colectores solares. El proceso de producción de biodiésel es simulado en ASPEN PLUS, mientras que el suministro de energía requerida por medio de colectores solares se estudió para las condiciones ambientales promedio anuales de Mexicali, Baja California, por medio de TRNSYS®. El sistema de abastecimiento y almacenamiento de la energía térmica necesaria para la operación continua del proceso, se lleva a cabo por medio del calentamiento solar de un fluido de transferencia de calor (HTF por sus siglas en inglés).

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó diferente software de simulación (ASPEN PLUS® y TRNSYS®), los cuales brindaban información valiosa para el desarrollo de los objetivos planteados. La falta de compatibilidad entre los software implicó una interpretación, depuración y adaptación de datos entre los mismos. Por lo cual, el estudio de cada uno de los procesos simulados requirió una elaborada serie de pasos tanto en los software como por parte del usuario.

La figura 3.1 presenta el esquema de la metodología aplicada para el desarrollo de este trabajo, donde se destaca la interacción entre el usuario y los software de simulación. A continuación se describe la metodología general aplicada:

- Primeramente, se determina el tipo de proceso de producción de biodiesel a simular, así como la materia prima a utilizar. Se diseña el proceso con la ayuda de ASPEN PLUS® y se obtienen los requerimientos de energía por el proceso.
- Posteriormente, se seleccionó un HTF capaz de trabajar en un amplio intervalo de temperaturas y se cargó a ASPEN PLUS®. La transferencia de energía desde el HTF al proceso de producción de biodiesel fue representada a través de intercambiadores de calor, los cuales producirían el vapor necesario para cada proceso. Con base en los resultados de las simulaciones de biodiesel, se determinaron los valores de corriente de los HTF, como la temperatura y el flujo de masa adecuada para transmitir la energía requerida por el proceso.
- Una vez que se estimaron los valores y propiedades requeridos del HTF, se dimensiona el sistema de almacenamiento térmico. La información sobre las dimensiones de los tanques y corriente de HTF y sus propiedades fueron proporcionados a TRNSYS®.
- A través de TRNSYS®, se obtuvo una matriz del colector solar final que proporciona la energía requerida para el proceso de producción de biodiésel, así como el consumo de potencia auxiliar.

La simulación en TRNSYS® fue dinámica y permitió evaluar el comportamiento del sistema durante un año promedio de funcionamiento continuo.

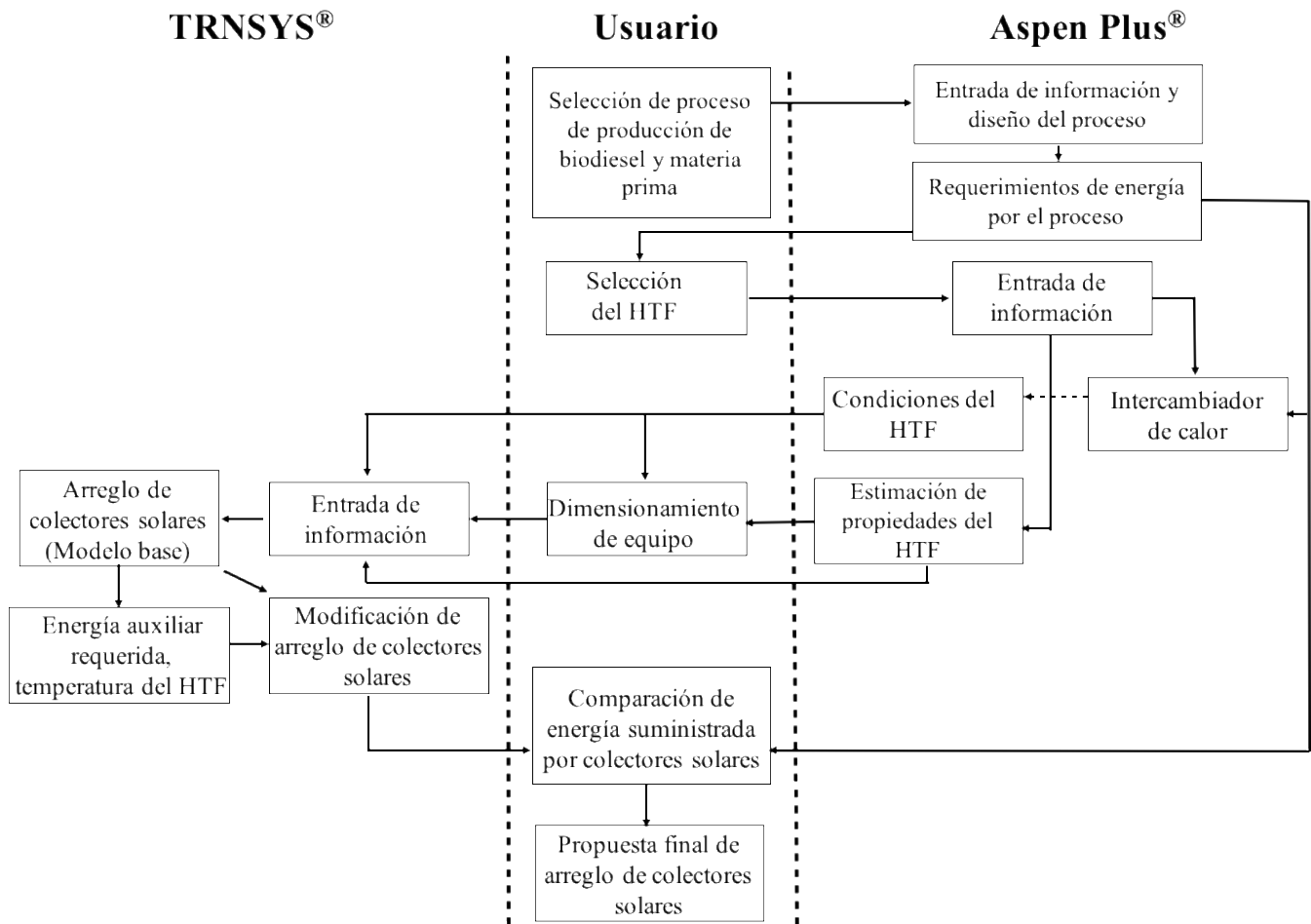
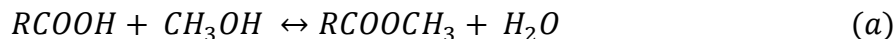


Figura 3.1 Diagrama de metodología general

3.2 Simulación biodiésel con catálisis alcalina

El proceso de producción de biodiésel por medio de la transesterificación con catálisis alcalina es de los procesos más empleados a nivel industrial. Este proceso cuenta con diferentes etapas dependiendo de las condiciones de la materia prima, relación molar de alcohol con respecto al aceite y diversas condiciones de operación. Cuando se utiliza AVR como materia prima para la elaboración de biodiésel por la vía alcalina, es importante incluir una etapa de pretratamiento de la materia prima, la cual consiste en una reacción de esterificación de los AGL contenidos en el AVR y así evitar la posterior formación de jabones y emulsiones. Posterior al pretratamiento, la reacción principal es una transesterificación de los triglicéridos contenidos en el AVR. En las ecuaciones *a* y *b* se observa la reacción de esterificación y

transesterificación respectivamente.



Generalmente ambas reacciones se llevan a cabo a presión atmosférica y en un rango de temperaturas entre los 328.15 K a 333.15 K, temperaturas cercanas al punto de ebullición de los alcoholes de bajo peso molecular que son comúnmente utilizados.

En ASPEN PLUS se simuló un proceso de producción de biodiésel por la vía alcalina con pretratamiento ácido, buscando obtener un proceso sencillo con el mayor rendimiento posible. El aceite de canola es el aceite vegetal más consumido en México [1]. Por lo tanto fue seleccionado para este análisis. Diversas simulaciones han utilizado trioleína como componente representativo del aceite de canola y metil oleato como biodiésel [2], lo cual representa una aproximación inexacta. Con base en datos reportados en la literatura sobre los principales triglicéridos y AGL que conforman el aceite de canola [3], se utilizó un modelo de componentes que representan una composición más precisa y apegada a la realidad del aceite de canola. Debido a la diversa variedad de componentes y composiciones que llega a tener un AVR, se consideraron los triglicéridos principales en el aceite de canola así como los principales ácidos grasos que representarían en nivel de degradación del aceite. En la tabla 3.1 se describe el modelo de equivalencia del AVR utilizado en la simulación.

Tabla 3.1. Composición representativa del aceite de canola residual.

10% AGL	
Compuesto	Fracción másica
Trioleína	0.720
Trilinoleína	0.180
Ácido Oleico	0.060
Ácido Linoleico	0.030
Ácido Linolénico	0.010

El proceso se estructuró para procesar una alimentación de AVR de 100 Kg/h, en la figura 3.2 se encuentra el diagrama de proceso en ASPEN PLUS®.

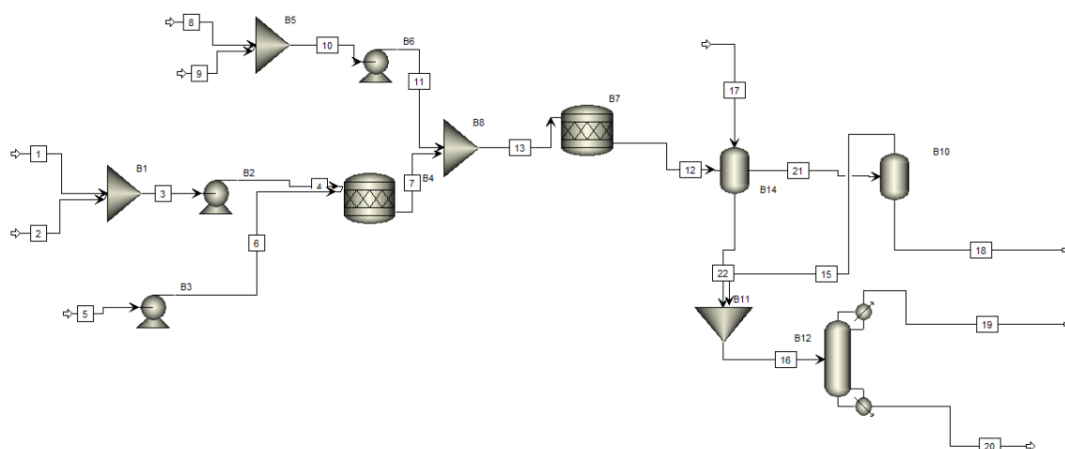


Figura 3.2 Diagrama en ASPEN PLUS del proceso de producción de biodiésel por la vía alcalina.

El proceso cuenta con diferentes etapas y condiciones de operación, las cuales se describen a continuación:

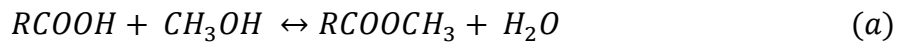
- Primeramente, la corriente 1 y 2 contienen metanol y ácido sulfúrico, respectivamente. Las corrientes son combinadas a temperatura y presión atmosféricas en el mezclador B1.
- La corriente 6 lleva el AVR directo al reactor B4, al cual también se adiciona el alcohol y el catalizador. En el reactor B4, se lleva a cabo el pretratamiento del AVR, el cual consiste en la esterificación de los AGL. La reacción se produce en un reactor estequiométrico con un rendimiento del 95% a presión de 400 kPa y una temperatura de 55°C.
- Los productos del pretratamiento ácido se conducen al mezclador B8, donde se combinan con metanol y el catalizador hidróxido de sodio.
- En el reactor B7 se lleva a cabo la transesterificación del AVR. La reacción se produce en un reactor estequiométrico con un rendimiento del 95% a presión de 400 kPa y una temperatura de 65°C.
- Posterior a la reacción, en el decantador B14 se realiza un lavado de los productos de reacción. La decantación se realiza a temperatura y presión atmosférica. Al decantador se agrega la corriente 17, la cual contiene un volumen de agua de 2 veces el volumen de la corriente 12. Del decantador se obtienen dos corrientes, la corriente 21 que contiene la mayor parte del biodiésel y la corriente 22 que es una mezcla de glicerina, agua y metanol.
- El equipo B10 es un tanque flash de separación, en este equipo se lleva a cabo la última etapa de

purificación del biodiésel. La separación flash es realizada a presión de 101 kPa y 100°C. El biodiésel se obtiene en la corriente 18, mientras que en la corriente 15 se recupera una mezcla de agua y metanol.

- Las corrientes 22 y 15 se combinan en el mezclador B11. El producto de la mezcla es llevado a la columna de destilación B12. La destilación se lleva a cabo en 8 etapas, con alimentación en la etapa cuatro y una relación de reflujo de 1. En la corriente 19 se recupera el exceso de metanol, mientras que en la corriente 20 se obtiene una mezcla de principalmente glicerina y agua. La glicerina, podría posteriormente neutralizarse y llevar a un proceso de purificación para su uso industrial.

3.3 Simulación de biodiésel con catálisis ácida

El proceso de producción de biodiésel por medio de catálisis ácida evita el uso de un pretratamiento pues este no es sensible al porcentaje de AGL en la materia prima. A diferencia de la catálisis alcalina, en el proceso con catálisis ácida la reacción de esterificación y transesterificación que transforman el AVR en biodiésel se llevan a cabo simultáneamente. En las ecuaciones *a* y *b* se presentan la reacción de esterificación y transesterificación respectivamente.



En ASPEN PLUS® se simuló un proceso de producción de biodiésel por la vía ácida, buscando obtener un proceso sencillo con el mayor rendimiento posible. Se utilizó un modelo de componentes que representan una composición más precisa y apegada a la realidad del aceite de canola. Debido a la diversa variedad de componentes y composiciones que llega tener una AVR, se consideraron los triglicéridos principales en el aceite de canola así como los principales ácidos grasos que representarían en nivel de degradación del aceite. En la tabla 3.2 se describe el modelo de equivalencia del AVR utilizado de la simulación.

Tabla 3.2. Composición representativa del aceite de canola residual.
10% AGL

Compuesto	Fracción másica
Trioleína	0.720
Trilinoleína	0.180
Ácido Oleico	0.060
Ácido Linoleico	0.030
Ácido Linolénico	0.010

El proceso se estructuró para procesar una alimentación de AVR de 100 Kg/h, en la figura 3.3 se aprecia el diagrama de proceso en ASPEN PLUS®.

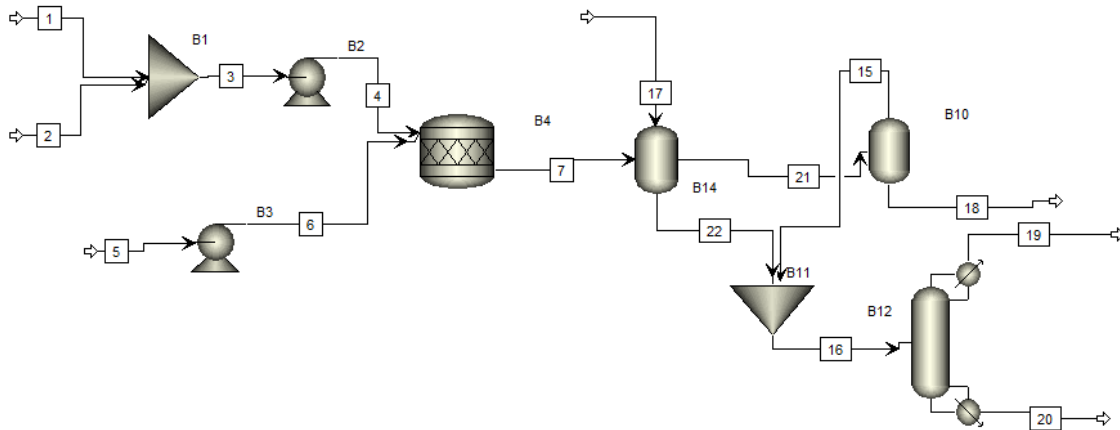


Figura 3.3 Diagrama en ASPEN PLUS® del proceso de producción de biodiésel por la vía ácida.

El proceso cuenta con diferentes etapas y condiciones de operación, las cuales se describen a continuación:

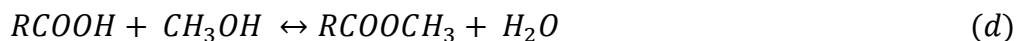
- Primeramente la corriente 1 y 2 contienen metanol y ácido sulfúrico, respectivamente. Las corrientes son combinadas a temperatura y presión atmosféricas en el mezclador B1.
- La corriente 6 lleva el AVR directo al reactor B4, al cual también se adiciona el alcohol y el catalizador. En el reactor B4, se lleva a cabo la esterificación de los AGL simultáneamente con la transesterificación de los triglicéridos. Las reacciones se produce en un reactor estequiométrico con un rendimiento del 95% a presión de 400 kPa y una temperatura de 50°C.
- Posterior a la reacción, en el decantador B14 se realiza un lavado de los productos de reacción. La decantación se realiza a temperatura y presión atmosférica. Al decantador se agrega la corriente

17, la cual contiene un volumen de agua de 2 veces el volumen de la corriente 7. Del decantador se obtienen dos corrientes, la corriente 21 que contiene la mayor parte del biodiésel y la corriente 22 que es una mezcla de glicerina, agua y metanol.

- El equipo B10 es un tanque flash de separación, en este equipo se lleva a cabo la última etapa de purificación del biodiésel. La separación flash es realizada a presión de 101 kPa y 100°C. El biodiésel se obtiene en la corriente 18, mientras que en la corriente 15 se recupera una mezcla de agua y metanol.
- Las corrientes 22 y 15 se combinan en el mezclador B11. El producto de la mezcla es llevado a la columna de destilación B12. La destilación se lleva a cabo en 8 etapas, con alimentación en la etapa cuatro y una relación de reflujo de 1. En la corriente 19 se recupera el exceso de metanol, mientras que en la corriente 20 se obtiene una mezcla de principalmente glicerina y agua. La glicerina, podría posteriormente neutralizarse y llevar a un proceso de purificación para su uso industrial.

3.4 Simulación de biodiésel en condiciones supercríticas

Uno de los métodos de interés especial para la producción de biodiésel, es el proceso en condiciones supercríticas o cercanas al punto crítico. El proceso supercrítico más común consiste en la transesterificación de triglicéridos contenidos en aceites vegetales y la esterificación simultánea de AGL a presiones de 8,400 kPa-35,000 kPa y temperaturas de 320°C-350°C [4]. En investigaciones recientes se ha indicado que es posible producir hasta un 10% adicional de biocombustible si el glicerol formado por la reacción de transesterificación se descompone completamente en 1,2,3 trimetil glicerol triéter. Con ello se podrían mejorar ciertas propiedades del biodiésel, favoreciendo el índice de cetano [5]. En las ecuaciones (c) y (d) se muestran las reacciones a partir de las cuales se simuló la producción de biodiésel. La ecuación (c) es la reacción global de transesterificación para triglicéridos, la ecuación (d) es la reacción de esterificación para AGL. Debido a la presencia de AGL en los AVR, se consideraron ambas reacciones simultáneamente.



En ASPEN PLUS® se simuló un proceso de producción de biodiésel en condiciones supercríticas, buscando obtener un proceso sencillo con el mayor rendimiento posible. Se utilizó un modelo de componentes que representan una composición más precisa y apegada a la realidad del aceite de canola. Debido a la diversa variedad de componentes y composiciones que llega a tener una AVR, se consideraron los triglicéridos principales en el aceite de canola así como los principales ácidos grasos que representarían en nivel de degradación del aceite. En la tabla 3.3 se describe el modelo de equivalencia del AVR utilizado de la simulación.

Tabla 3.3. Composición representativa del aceite de canola residual.

Compuesto	10% AGL
	Fracción másica
Trioleína	0.720
Trilinoleína	0.180
Ácido Oleico	0.060
Ácido Linoleico	0.030
Ácido Linolénico	0.010

El proceso de producción de biodiésel en condiciones supercríticas fue simulado en ASPEN PLUS® con una alimentación de 100 kg/h de AVR. El diagrama del proceso está ilustrado en la figura 3.4.

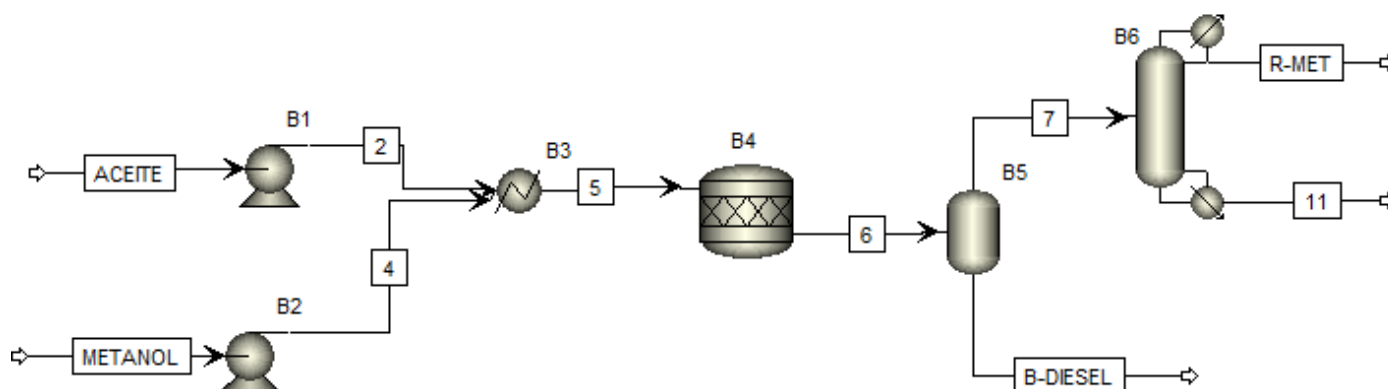


Figura 3.4. Diagrama de producción de biodiésel en condiciones supercríticas en ASPEN PLUS®.

El proceso está constituido de cuatro etapas principales:

- Primeramente, el aceite y el metanol son llevados a una presión de 15,000 kPa por las bombas B1 y B2, respectivamente. Posteriormente, su temperatura es elevada hasta los 350°C en el intercambiador de calor (B3).
- Una vez alcanzadas las condiciones de presión y temperatura adecuadas, los reactivos son llevados a un reactor estequiométrico (B4). En B4 se llevan a cabo 5 reacciones simultáneas: 2 reacciones de transesterificación para cada uno de los triglicéridos y 3 reacciones de esterificación para los diferentes AGL. Ambas reacciones de transesterificación y esterificación con un rendimiento de 98%. Se aplicó una relación molar de metanol-triglicéridos y metanol-AGL de 9:1.
- La purificación del biodiésel se lleva a cabo en un tanque flash (B5), en condiciones de 101 kPa y 95°C.
- Por último, la salida de vapor de B5 es enviada a una columna de destilación (B6), en donde el objetivo principal es la recuperación del metanol en exceso. La destilación en B6 se lleva a cabo en 8 etapas, con alimentación en la etapa cuatro y una relación de reflujo de 1.5.

3.4.1 Determinación de parámetros para el fluido de transferencia de calor

El sistema de abastecimiento y almacenamiento de la energía térmica necesaria para la operación continua del proceso se lleva a cabo por medio del calentamiento solar de un HTF. Para la determinación del flujo másico, la temperatura a la que se necesita elevar el HTF, así como los coeficientes globales de transferencia para los intercambiadores de calor se utilizó el software ASPEN PLUS®. El HTF seleccionado para el transporte de la energía térmica fue un aceite térmico, una mezcla eutéctica de bifenol y óxido de difenol, cuyo nombre comercial es Therminol® VP-1[6].

3.4.2 Simulación de colectores solares

El diagrama del sistema para el calentamiento y almacenamiento del HTF se representa en la figura 3.5. El sistema de almacenamiento de energía consta de un tanque de almacenamiento para el fluido antes del calentamiento (Tanque 1) y otro para el fluido calentado (Tanque 2); el arreglo de los colectores solares y una serie de intercambiadores de calor, que representan las etapas de generación de vapor que proporciona energía térmica al proceso de producción de biodiésel. Los volúmenes de los tanques de almacenamiento se calcularon con base en la densidad del fluido de calentamiento así como su flujo a la entrada y salida.

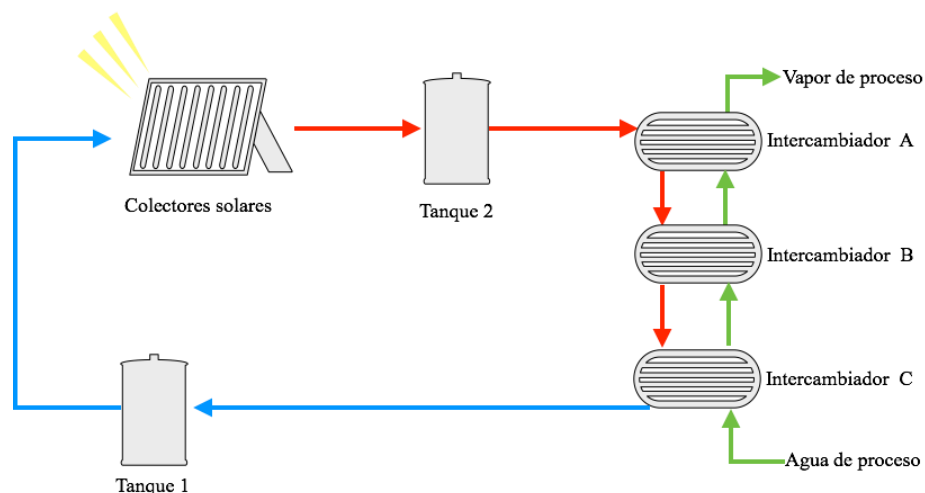


Figura 3.5. Diagrama de bloques del sistema de almacenamiento de energía termosolar.

El sistema de almacenamiento de energía térmica requiere la inclusión de algunos controles para operar de manera continua y con la menor variación de temperatura de HTF a la salida. Debido a la intermitencia del recurso solar se consideraron flujos de salida distintos para el tanque 1 y tanque 2. De esta manera el HTF necesario para la operación continua del proceso de biodiésel es llevado a la temperatura adecuada en un periodo de aproximadamente 8 horas.

La tecnología solar que se seleccionó para llevar a cabo la captación de energía térmica solar fue la de colectores parabólicos lineales. La elevada temperatura a la que se requiere elevar el HTF limita el uso de diversos tipos de colectores, restringiendo la selección de tecnologías a colectores solares con concentración, los cuales son más eficiente y alcanzan temperaturas altas. Los colectores parabólicos lineales se han utilizado ampliamente para la generación de energía eléctrica, debido a que logran elevar la temperatura de los fluidos por encima de los 400°C [7].

En la figura 3.6 se presenta el diagrama general de la simulación en TRNSYS® para la determinación del sistema de captación y almacenamiento de energía solar.

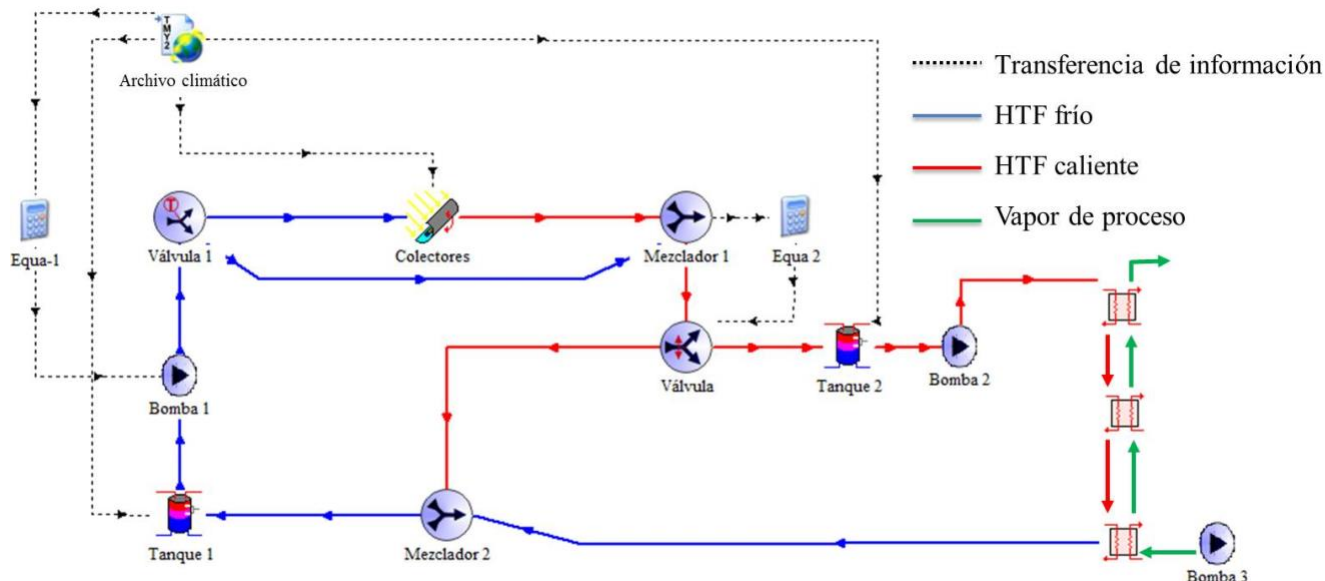


Figura 3.6. Diagrama de simulación en TRNSYS® del sistema de almacenamiento de energía termosolar. Los controles aplicados para la operación continua del sistema de calentamiento del HTF se describen a continuación:

- La bomba 1 controla el flujo de salida del tanque 1. El módulo Equa 1 recibe información del archivo climático sobre el nivel de radiación solar, posteriormente este módulo manda una señal de control para accionar la bomba 1 y sólo será activada cuando la radiación solar sea la adecuada para empezar a elevar la temperatura del HTF. En análisis preliminares se determinó la radiación mínima de 270 W/m^2 para iniciar el calentamiento.
- La válvula 1, se encarga de regular el flujo hacia los colectores y hacia el mezclador 1. Esto lo hace mediante el censo de la temperatura a la salida de los colectores, de tal manera que cuando la temperatura de salida de los colectores es superior a 300°C , la válvula 1 divide el flujo de HTF de modo tal que a la salida del mezclador 1 la temperatura sea 300°C .
- La válvula 2 envía el flujo de HTF al tanque 2 y es controlada por el módulo Equa 2, el cual mide la temperatura a la salida del mezclador 1. Si la temperatura es igual o mayor a 300°C , Equa 2 envía la señal a la válvula 2 de enviar el HTF al tanque 2, de lo contrario, la totalidad del flujo de entrada a la válvula 2 es enviado al mezclador 3. De esta forma se produce una menor variación en la temperatura de salida del tanque 2.
- Debido a las pérdidas de energía, por interacción con el medio ambiente, el tanque 2 cuenta con un sistema de energía auxiliar que se activará cuando sea necesario elevar la temperatura del HTF.

La selección final del arreglo de colectores se realizó con base en un análisis de la variación de la fracción solar anual con respecto a diferentes arreglos en serie y paralelo de colectores solares.

3.4.2.1 Fracción solar

La fracción solar es un parámetro comúnmente utilizado en el diseño y optimización de sistemas de captación de energía solar [8,9]. La fracción solar es un mejor indicador del desempeño de un sistema de energía solar comparada con otros parámetros como la eficiencia de los colectores o el factor de calor retirado, debido a que este muestra un desempeño global del sistema y no de un componente individual[10]. La fracción solar es descrita como la relación entre la aportación de energía solar con respecto a la energía total requerida por el proceso al que se aplica:

$$f = \frac{Q_s}{Q_s - Q_{Aux}}$$

Donde f es la fracción solar, Q_s es el calor aportado por la energía solar al proceso y Q_{Aux} es la energía térmica auxiliar requerida. A medida que la fracción solar aumenta en un sistema de energía solar, la cantidad de energía fósil que se utiliza para el calentamiento auxiliar es menor [11].

El uso de la fracción solar como parámetro de diseño, es empleado al analizar la variación de este con diferentes componentes del sistema de captación de energía solar; como son áreas de colección, diferentes fluidos de trabajo, volúmenes de tanques de almacenamiento, materiales de construcción, etc.

Cuando un sistema está debidamente diseñado, por ejemplo cuando se cubre casi por completo la demanda de energía del proceso, la adición de más colectores no conducirá precisamente a un aumento en el aprovechamiento de la energía solar. En periodos de alta radiación solar, el sistema producirá un exceso de calor, el cual llevará no sólo a mayores pérdidas de calor en los colectores, sino también a una menor eficiencia. El sobre dimensionamiento de los sistemas solares implican mayores costos que los beneficios en la captación de energía. Y en períodos de baja radiación solar, la captación de energía será mayor, pero la energía total anual captada será menor que en el sistema original [12].

3.5 Análisis de impacto ambiental

Tradicionalmente, los diseños de procesos químicos se centran en minimizar los costos, mientras que el impacto ambiental de un proceso es a menudo pasado por alto. Esto conduce en muchos casos a la producción de grandes cantidades de materiales de desecho. Es posible reducir la generación de estos residuos y su impacto ambiental modificando el diseño del proceso. En el caso de los procesos de producción de biodiésel presentados en este trabajo es necesario evaluar el impacto ambiental de dichos procesos así como de los residuos generados a partir de los mismos. El conocer la afectación ambiental

que se desprende de cada proceso nos permitirá realizar un comparativo entre las bondades y desventajas de cada proceso, así como también nos brinda un panorama de las áreas de oportunidades por mejorar en cada proceso.

El análisis de impacto ambiental efectuado al presente estudio se realizó a partir del algoritmo de reducción de residuos (WAR por sus siglas en inglés), el cual es promovido por la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos de América (EPA por sus siglas en inglés). El algoritmo WAR fue desarrollado para que los impactos ambientales de los diseños pudieran ser fácilmente evaluados. El objetivo de WAR es reducir los impactos ambientales y relacionados con la salud humana en la fase de diseño [13].

El algoritmo WAR evalúa los procesos en términos de posibles impactos ambientales (PEI por sus siglas en inglés). Los impactos ambientales potenciales de un producto químico se definen como el efecto que un producto químico tendría en el ambiente si fuera simplemente emitido en el ambiente. El algoritmo de estimación de impacto es sofisticado, pero lo suficientemente flexible como para permitir a los usuarios enfatizar o desestimar los diferentes peligros según sea necesario para aplicaciones particulares [14]. El algoritmo caracteriza el PEI de las corrientes de materia que entran al proceso como también las corrientes de producto y residuos generados por el mismo. Al mismo tiempo toma en cuenta el impacto generado por el proceso de generación de energía para el proceso, tomando en cuenta si ésta es por carbón o gas. WAR incluye impactos ambientales potenciales de ocho categorías, descritas a continuación por sus siglas en inglés [15]:

- HTPI (Potencial de toxicidad humana por ingestión)
- HTPE (Potencial de toxicidad humana por ingestión)
- ATP (Potencial de toxicidad acuática)
- TTP (Potencial de toxicidad terrestre)
- GWP (Potencial de calentamiento global)
- ODP (Potencial de agotamiento del ozono)
- PCOP (Potencial de oxidación fotoquímica)
- AP (Potencial de acidificación)

El algoritmo WAR se ha utilizado para evaluar numerosos procesos con el fin de determinar los intercambios entre el desempeño económico y el impacto ambiental. WAR se ha utilizado para evaluar un proceso de fermentación para la fabricación de penicilina, la producción de benceno a partir de tolueno y recientemente la generación de etanol de maíz y caña de azúcar [16].

Referencias

1. Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles, 2010.
2. Sérgio Morais, Teresa M. Mata, António A. Martins, Gilberto A. Pinto, Carlos A.V. Costa, “Simulation and life cycle assessment of process design alternatives for biodiesel production from waste vegetable oils”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 18, p. 1251-1259, 2010.
3. Roman Przybylski, “Canola Oil Physical and Chemical Properties”, *Canola Council of Canada*, www.canola-council.org.
4. Fernando Israel Gomez-Castro, Vicente Rico-Ramirez, Juan Gabriel Segovia-Hernandez, Salvador Hernandez-Castro, Mahmoud M. El-Halwagi, “Simulation study on biodiesel production by reactive distillation with methanol at high pressure and temperature: Impact on costs and pollutant emissions”, *Computers and Chemical Engineering*, Vol.52, p. 204–215, 2013.
5. Víctor Fernando Marulanda, “Biodiesel production by supercritical methanol transesterification: process simulation and potential environmental impact assessment”, *Journal of Cleaner Production*, Vol.33, p. 109-116, 2012.
6. Markus Eck, Klaus Hennecke, “Heat transfer fluids for future parabolic trough solar thermal power plants”, Proceedings of ISES Solar World Congress 2007: Solar Energy and Human Settlement.
7. Sarada Kuravi, Jamie Trahan, D. Yogi Goswami, Muhammad M. Rahman, Elias K. Stefanakos, “Thermal energy storage technologies and systems for concentrating solar power plants”, *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 39, p. 285-319, 2013.
8. Soteris A. Kalogirou, “Solar thermal collectors and applications”, *Progress in energy and combustion science*, Vol.30, p. 231-295, 2004.
9. Soteris A. Kalogirou, “Use of TRNSYS for modeling and simulation of a hybrid pv-thermal solar system for Cyprus”, *Renewable energy*, Vol.23, p.247-260, 2001.
10. Alireza Hobbi, Kamran Siddiqui, “Optimal design of a forced circulation solar water heating system for a residential unit in cold climate using TRNSYS”, *Solar Energy*, Vol. 83, p. 700–714, 2009.
11. Duffie JA, Beckman WA. *Solar engineering of thermal processes*. New York: Wiley; 1991.
12. The German Solar Society. *Planning and Installing Solar Thermal Systems - A Guide for Installers, Architects and Engineers*. Earthscan. 2005, ISBN 978-1-84977-399-7. Online version available at: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPISTSAG6/planning-installing-solar/planning-installing-solar>
13. Young, D.M. and H. Cabezas. “Designing Sustainable Processes with Simulation: The Waste Reduction (WAR) Algorithm.” *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 23, p. 1477–1491, 1999.

14. Fu, Y., U.M. Diwekar, D.M. Young and H. Cabezas. "Designing Processes for Environmental Problems." *Chapter 12 in Process Design Tools for the Environment*, Edited by S.K. Sikdar and M. El-Halwagi. Taylor and Francis, New York, NY. p. 295–318, 2001.
15. Cabezas, H., J.C. Bare and S.K. Mallick. "Pollution Prevention with Chemical Process Simulators: The Generalized Waste Reduction (WAR) Algorithm." *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 21, p. 305–310, 1997.
16. Environmental protection agency (EPA), Environmental Optimization Using the WASTE Reduction Algorithm (WAR), EPA 600-F11027, Agosto 2011.

4. Resultados

4.1 Simulación de biodiésel por la vía alcalina

Se logró simular un proceso de producción de biodiésel en dos etapas. En la simulación se procesan 100 kg/h de AVR de canola. Tanto el diagrama de simulación como las corrientes de importancia se ilustran en la figura 4.1 y la tabla 4.1, respectivamente.

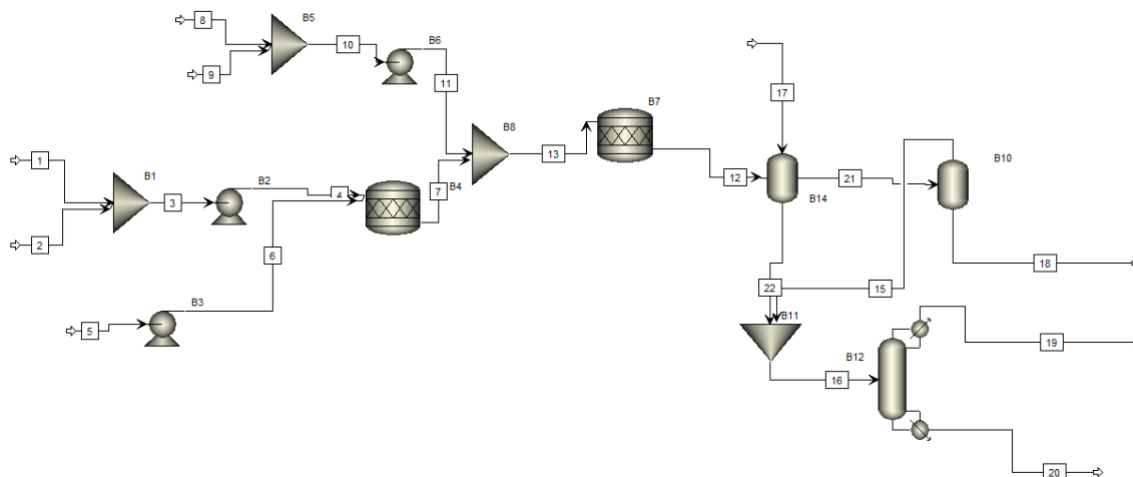


Figura 4.1 Diagrama en ASPEN PLUS del proceso de producción de biodiésel por la vía alcalina.

Tabla 4.1 Condiciones de operación y composiciones másicas de corrientes de simulación.

Corriente	1	2	5	7	8	9	12	21	16	18	19
Flujo másico (Kg/h)	16.1	0.35	100	116.45	1	20	137.45	101.58	135.95	101.49	23.01
T (°C)	25	25	25	50	25	25	65	60	61.70	100	73.95
P (kPa)	101	101	101	400	101	101	400	101	101	101	101
CH ₃ OH	1.000	0.000	0.000	0.132	0.000	1.000	0.187	0.006	0.185	0.006	0.854
H ₂ SO ₄	0.000	1.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.003	0.000	0.002	0.000	0.000
NaOH	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.007	0.000	0.007	0.000	0.000
H ₂ O	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.003	0.002	0.738	0.001	0.146
TRIOLEIN	0.000	0.000	0.744	0.639	0.000	0.000	0.027	0.037	0.000	0.037	0.000
TRILINOL	0.000	0.000	0.186	0.160	0.000	0.000	0.007	0.009	0.000	0.009	0.000
AC-OLEIC	0.000	0.000	0.042	0.002	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.002	0.000
AC-LINOL	0.000	0.000	0.021	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000
AC-LINLE	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M-LINLE	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.005	0.007	0.000	0.007	0.000
M-LINOL	0.000	0.000	0.000	0.018	0.000	0.000	0.144	0.195	0.000	0.196	0.000
M-OLEATO	0.000	0.000	0.000	0.036	0.000	0.000	0.547	0.740	0.000	0.741	0.000
GLY	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.067	0.000	0.068	0.000	0.000

De acuerdo con los resultados de simulación, el proceso de producción de biodiésel por la vía alcalina y con pretratamiento ácido mantiene una producción de 95.73 Kg/h lo cual representa un 95.4% de rendimiento en la obtención final de biodiésel. La corriente 18 está compuesta por un 94.3% de biodiésel, pero si se agrega el porcentaje de AVR sin reaccionar se obtiene un 99.2% de biocombustible. También, de acuerdo con la información que arroja la corriente 19, se logra recuperar un 78.1% del metanol en exceso. La demanda energética del proceso se presenta en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Demanda energética del proceso de producción de biodiésel por la vía alcalina.

	Potencia (KW)
Bomba (B2)	0.006
Bomba (B3)	0.048
Bomba (B6)	0.007
Reactor (B4)	1.636
Reactor (B7)	1.657
Flash (B10)	2.376
Columna (B12)	21.687
Total	27.417

En la tabla 4.2, se aprecia como la mayor carga energética es requerida en la columna de destilación B12, la cual se encarga de la recuperación del metanol en exceso. Al igual que la columna B12 los equipos B4, B7 y B10 requieren un suministro de energía térmica, aunque en una menor proporción. El objetivo de esta investigación es suministrar la mayor cantidad de energía térmica posible al proceso a través de la colección de energía solar.

4.1.1 Simulación de colectores solares

Por medio de ASPEN PLUS® se determinó que es necesario tener un flujo de 300 kg/h de aceite térmico a 260°C para generar el vapor de proceso. En estas condiciones el HTF genera un flujo de vapor de 500 kg/h a 200 °C y 1 atm. El vapor producido logra suministrar la energía requerida a la columna B12, el separador flash B10 y los reactores B4 y B7. Lo cual representa el 99.77% de la energía requerida por el proceso.

A través de TRNSYS® se estructuró un sistema de almacenamiento y suministro de energía térmica el cual se describe en la figura 4.2. Para un flujo constante de 300 kg/h de aceite a 260°C sería necesario un tanque de almacenamiento de aceite frío de 8 m³ y un tanque de almacenamiento de aceite caliente de 5 m³. Debido a la intermitencia del recurso solar se consideraron flujos de salida distintos para el tanque 1 y tanque 2, siendo de 900 kg/h y 300 kg/h, respectivamente. De esta manera el HTF necesario para la operación continua del proceso de biodiésel, es llevado a la temperatura adecuada en un periodo de aproximadamente 8 horas.

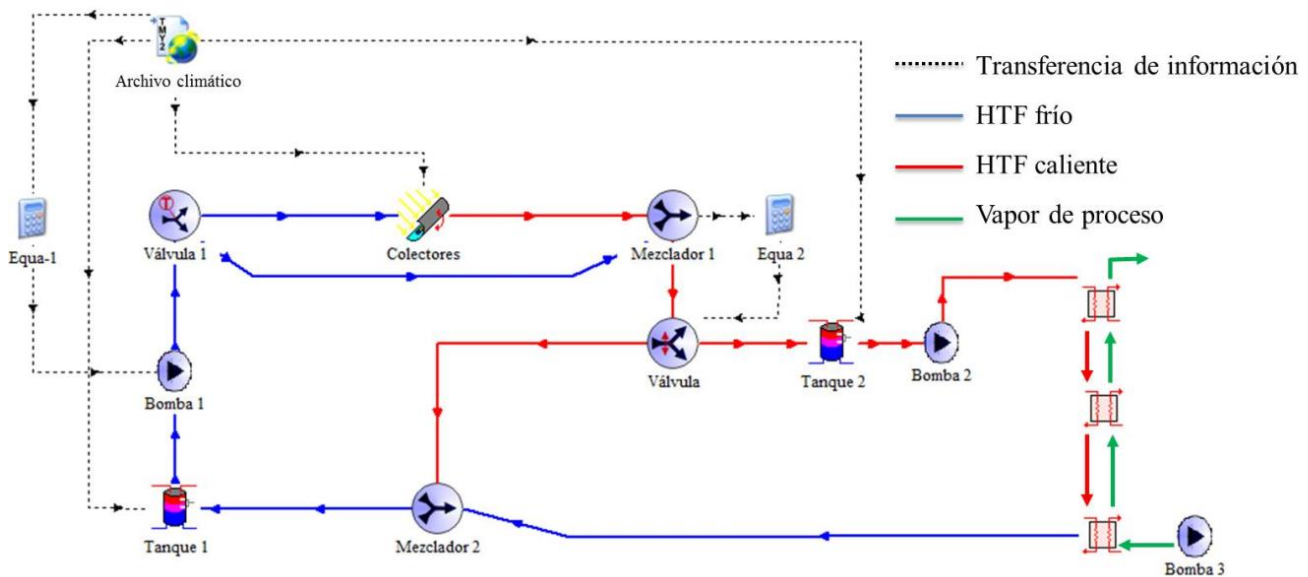


Figura 4.2. Diagrama de simulación en TRNSYS® del sistema de almacenamiento de energía termosolar.

Para la determinación del arreglo de colectores adecuado para suplir las necesidades del proceso, se compararon un grupo de arreglos de colectores solares en función de la fracción solar anual del sistema de almacenamiento termosolar. En la figura 4.3 se ilustra la fracción solar anual aportada por diferentes arreglos en serie y paralelo.

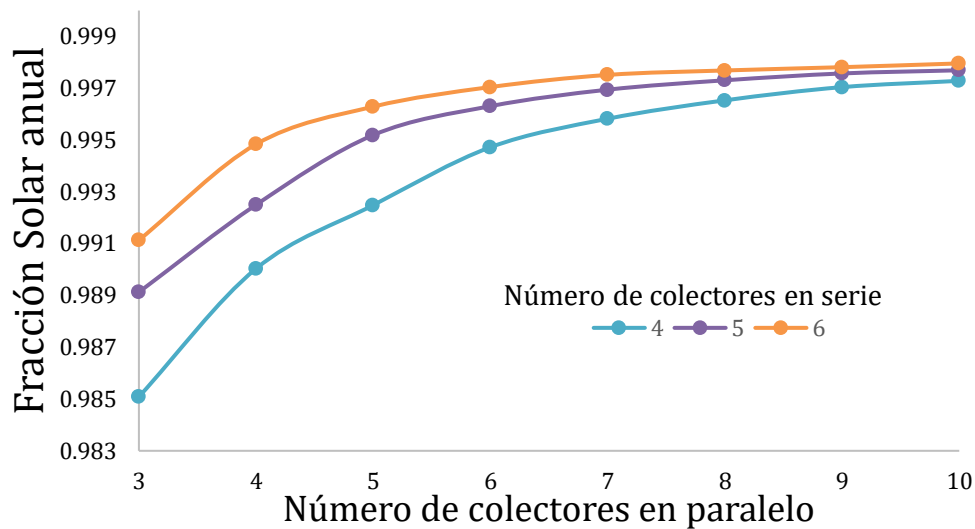


Figura 4.3 Comparativo de arreglos de colectores solares.

A partir del análisis de fracción solar se presta atención a que el aprovechamiento de la energía solar aumenta a medida que se incrementa el número de colectores en serie y paralelo. Sin embargo, el aumento en la fracción solar anual aprovechada por diferentes arreglos es superior al 99% a partir de tener 6 colectores en serie o a partir de 4 en paralelo. También, se aprecia que la variación en la fracción solar se reduce considerablemente a partir de tener 8 colectores en paralelo. Como resultado del estudio del sistema de almacenamiento de energía térmica para el proceso de producción de biodiésel por la vía alcalina, se obtuvo el arreglo de colectores que se describe en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Parámetros del arreglo de colectores parabólicos lineales.

Arreglo de colectores parabólicos lineales	
Colectores en serie	4
Colectores en paralelo	8
Área individual de colección	10 m ²
Área total de colección	320 m ²
Orientación azimutal	0°
Inclinación	Seguimiento solar en un solo eje

Debido a las pérdidas de energía térmica en el tanque 2, es necesaria la activación del sistema de calentamiento auxiliar. En la figura 4.4 se ilustra el ahorro de energía que proporciona el sistema de almacenamiento termosolar al proceso de producción de biodiésel, así como la energía consumida por el mismo sistema. El ahorro de energía está dado por la energía obtenida a partir de los colectores solares;

y la energía consumida por el sistema consiste en el calentamiento auxiliar requerido y la energía consumida por las bombas del sistema.

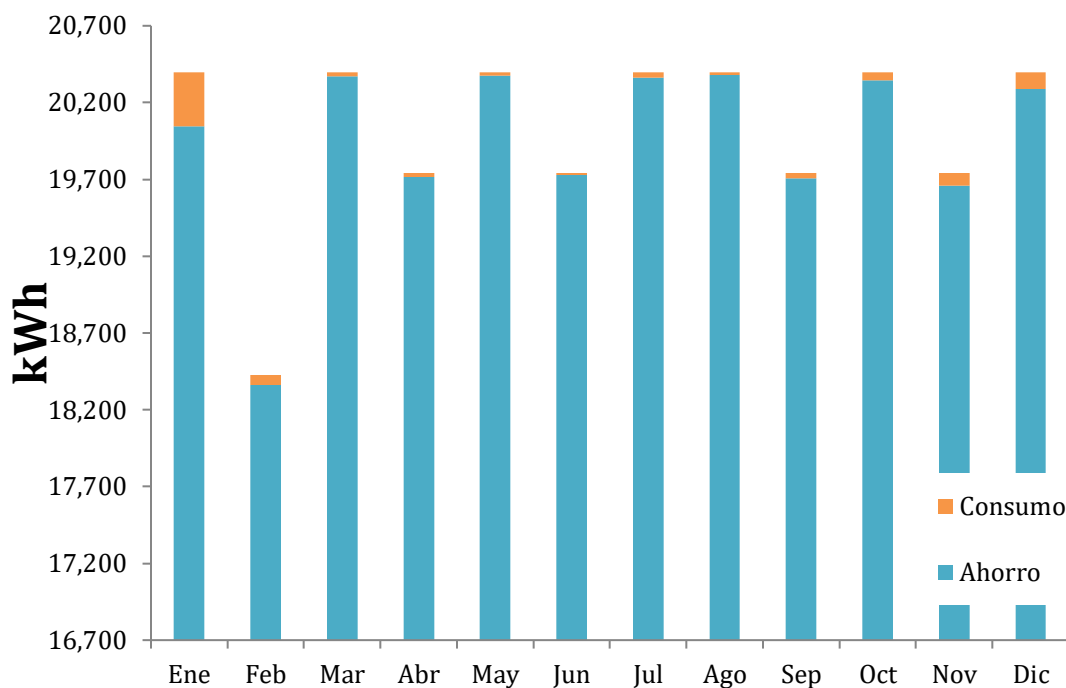


Figura 4.4 Ahorro y consumo mensual de energía del sistema de almacenamiento de energía termosolar.

El arreglo de colectores propuesto acoplado al proceso de producción de biodiésel por la vía alcalina, disminuye el consumo de energía producida por la quema de combustibles fósiles. En la figura 4.5, se presenta la fracción solar mensual aportada por el arreglo de colectores solares.

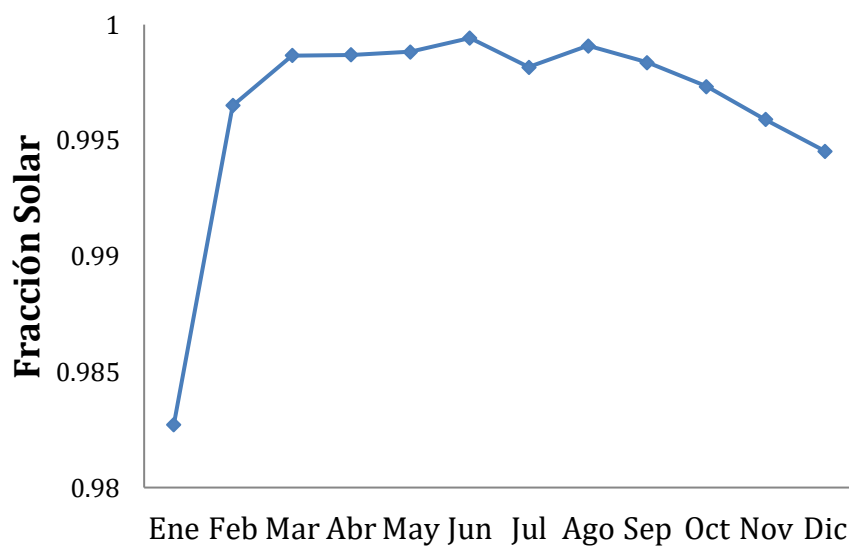


Figura 4.5 Fracción solar mensual del sistema de almacenamiento de energía termosolar.

Es de notar cómo la mayor aportación de energía solar al proceso se da en los meses que comprenden de marzo a septiembre, donde se tiene una aportación de energía solar superior al 99.8% de la energía térmica requerida por el proceso de biodiésel.

En la figura 4.6, se presentan las diferentes aportaciones de energía al proceso de producción de biodiésel por la vía alcalina. En donde, el 99.427% de energía requerida por el proceso es suministrada por el arreglo de colectores solares.

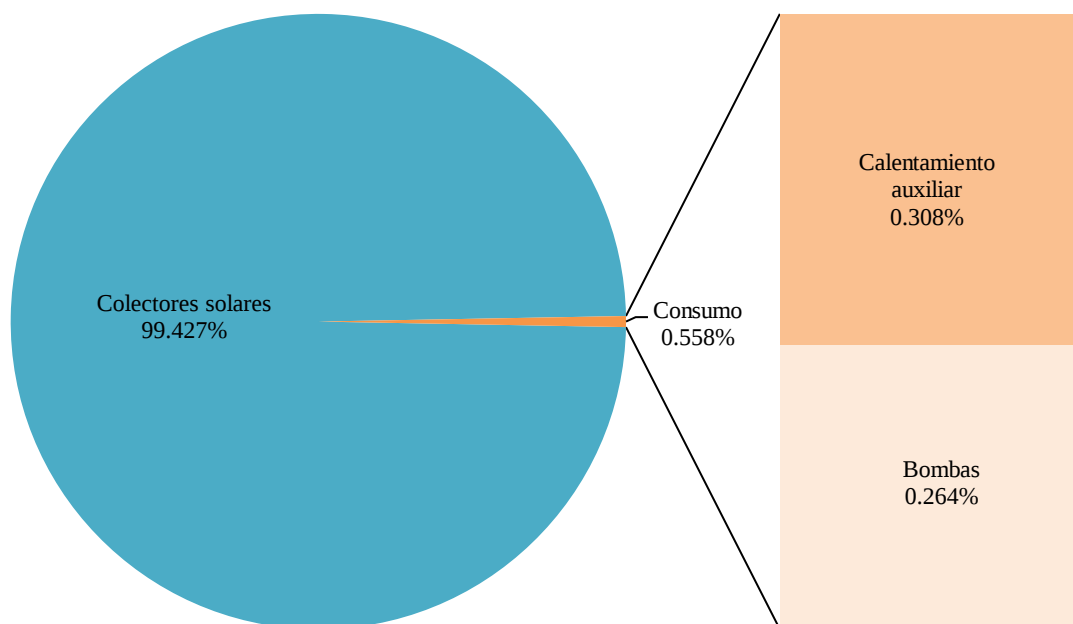


Figura 4.6 Aportaciones de energía al proceso de producción de biodiésel por la vía ácida.

4.2 Resultados de simulación de biodiésel por la vía ácida

Por medio de ASPEN PLUS[®], se realizó una simulación para la producción de biodiésel por medio de catálisis ácida. Dicha simulación se diseñó para procesar 100 kg/h de AVR de canola. En la figura 4.7 y la tabla 4.4 se describe el diagrama de simulación del proceso y los resultados obtenidos para las corrientes de mayor relevancia para el estudio, respectivamente.

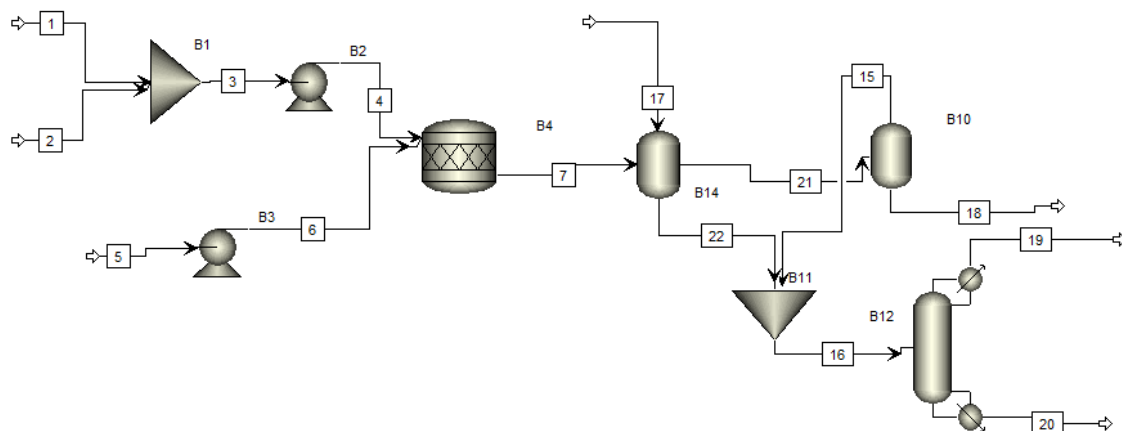


Figura 4.7 Diagrama en ASPEN PLUS del proceso de producción de biodiésel por la vía ácida.

Tabla 4.4 Condiciones de operación y composiciones másicas de corrientes de simulación.

Corriente	1	2	5	7	21	16	18	19
Flujo másico (Kg/h)	30	0.35	100	130.35	101.42	128.96	101.38	21.91
T (°C)	25	25	25	60	60	61.19	100	78.11
P (kPa)	101	101	101	405	101	101	101	101
CH ₃ OH	1.000	0.000	0.000	0.151	0.005	0.148	0.005	0.782
H ₂ SO ₄	0.000	1.000	0.000	0.003	0.000	0.003	0.000	0.000
H ₂ O	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.778	0.001	0.218
TRIOLEIN	0.000	0.000	0.744	0.029	0.037	0.000	0.037	0.000
TRILINOL	0.000	0.000	0.186	0.007	0.009	0.000	0.009	0.000
AC-OLEIC	0.000	0.000	0.042	0.002	0.002	0.000	0.002	0.000
AC-LINOL	0.000	0.000	0.021	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000
AC-LINLE	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M-LINLE	0.000	0.000	0.000	0.005	0.007	0.000	0.007	0.000
M-LINOL	0.000	0.000	0.000	0.152	0.196	0.000	0.196	0.000
M-OLEATO	0.000	0.000	0.000	0.577	0.741	0.000	0.742	0.000
GLY	0.000	0.000	0.000	0.071	0.000	0.071	0.000	0.000

Con base en los resultados presentados en la tabla 4.4, el proceso de producción de biodiésel por la vía ácida mantiene una producción de 95.73 Kg/h lo cual representa un 95.4% de rendimiento en la obtención final de biodiésel. La corriente 18, a la salida del separador flash, está compuesta por un 94.4% de biodiésel. A la salida de la columna de destilación, la corriente 19, está compuesta por un 78.2% de metanol correspondiente a 89.5% del metanol sin reaccionar. La demanda energética del proceso se presenta en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Demanda energética del proceso de producción de biodiésel por la vía ácida.

	Potencia (KW)
Bomba (B2)	0.011
Bomba (B3)	0.048
Reactor (B4)	2.471
Flash (B10)	2.354
Columna (B12)	22.234
Total	27.117

En la tabla 4.4 se destaca que la mayor carga energética requerida se presenta en la columna de destilación B12, la cual se encarga de la recuperación del metanol en exceso. De acuerdo con el objetivo de la presente tesis, se busca suministrar la mayor cantidad de energía térmica solar. Al igual que la columna B12, los equipos B4 y B10 requieren un suministro de energía térmica, aunque en una menor proporción se buscó suplir también su demanda energética.

4.2.1 Simulación de colectores solares

A través de ASPEN PLUS® se encontró que a partir de un flujo de 400 kg/h de aceite térmico a 260°C se genera el vapor requerido por el proceso. El flujo de vapor, necesario para el suministro de energía, es de 300 kg/h a 250°C y 1 atm. Este vapor logra suministrar la energía requerida a la columna B12, el separador flash B10 y el reactor B4, lo cual representa el 99.79% de la energía requerida por el proceso.

Se utilizó el software TRNSYS® para estructurar un sistema de almacenamiento y suministro de energía térmica, el cual aprecia en la figura 4.8. Las especificaciones del sistema se describen a continuación: Para un flujo constante de 400 kg/h de aceite a 260°C sería necesario un tanque de almacenamiento de aceite frío de 10 m³ y un tanque de almacenamiento de aceite caliente de 7 m³. Debido a la intermitencia del recurso solar se consideraron flujos de salida distintos para el tanque 1 y tanque 2, siendo de 1,200 kg/h y 400 kg/h, respectivamente. De esta manera el HTF necesario para la operación continua del proceso de biodiésel es llevado a la temperatura adecuada en un periodo de aproximadamente 8 horas.

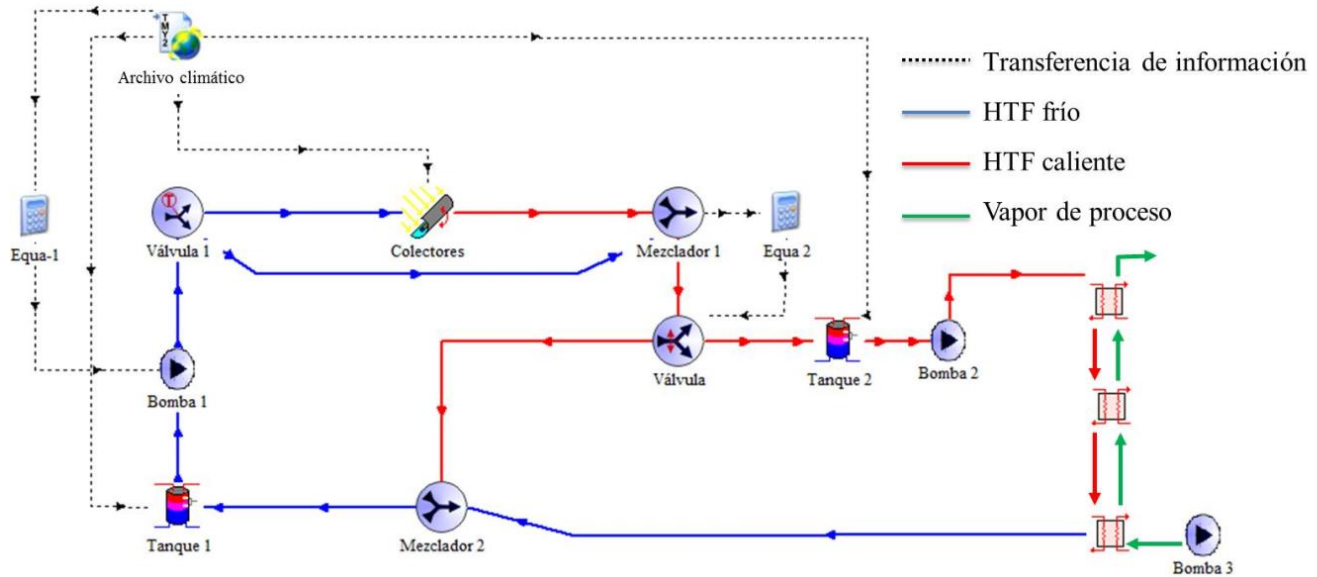


Figura 4.8. Diagrama de simulación en TRNSYS® del sistema de almacenamiento de energía termosolar.

El arreglo final de colectores se concluyó a partir de un análisis de la fracción solar anual del sistema. Se compararon un grupo de arreglos de colectores solares en función de la relación entre la energía aportada por los colectores y la energía auxiliar necesitada. En la figura 4.9 se representa la variación en la fracción solar anual aportada por diferentes arreglos en serie y paralelo.

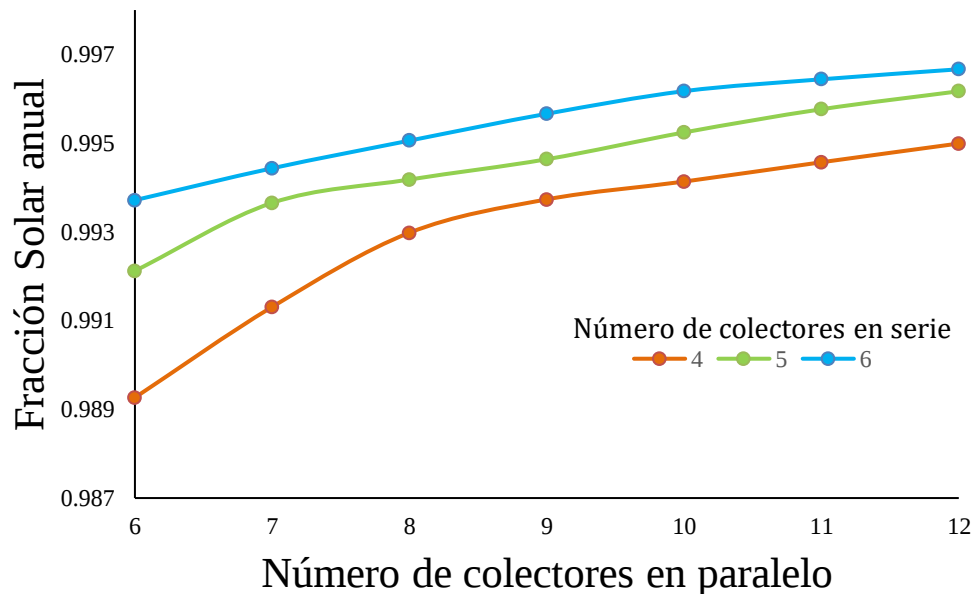


Figura 4.9 Comparativo de arreglos de colectores solares.

El análisis de fracción solar, presentado en la figura 4.9, refleja que el aprovechamiento de la energía solar aumenta a medida que se incrementa el número de colectores en serie y paralelo. Sin embargo, el aumento en la fracción solar anual aprovechada por diferentes arreglos es superior al 99% a partir de tener 7 colectores en paralelo. Como resultado del estudio del sistema de almacenamiento de energía térmica para el proceso de producción de biodiésel por la vía ácida, se obtuvo el arreglo de colectores que se describe en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Parámetros del arreglo de colectores parabólicos lineales.

Arreglo de colectores parabólicos lineales	
Colectores en serie	5
Colectores en paralelo	7
Área individual de colección	10 m ²
Área total de colección	350 m ²
Orientación azimutal	0°
Inclinación	Seguimiento solar en un solo eje

Un sistema de calentamiento auxiliar se activa cuando los requerimientos de energía no son alcanzados por la captación solar o en casos de pérdidas térmicas en los tanques de almacenamiento. En la figura 4.10 se aprecia el ahorro de energía que proporciona el sistema de almacenamiento termosolar al proceso de producción de biodiésel, así como la energía consumida por el mismo sistema. El ahorro de energía está dado por la energía obtenida a partir de los colectores solares; y la energía consumida por el sistema consiste en el calentamiento auxiliar requerido y la energía consumida por las bombas del sistema.

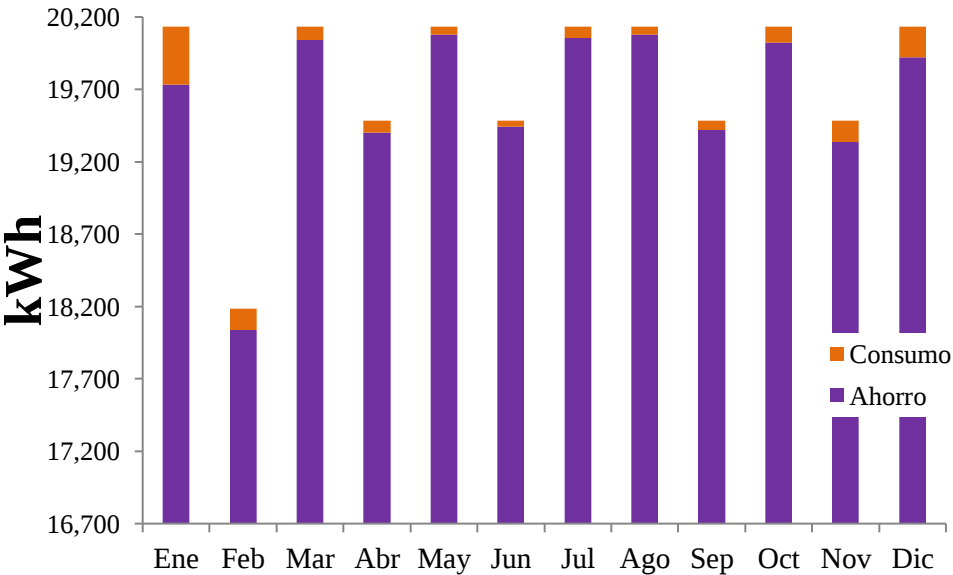


Figura 4.10 Ahorro y consumo mensual de energía del sistema de almacenamiento de energía termosolar.

La figura 4.10 demuestra que el arreglo de colectores propuesto acoplado al proceso de producción de biodiésel por la vía ácida, disminuye el consumo de combustibles fósiles en la producción de biodiésel. Este ahorro se observa de mejor manera al analizar la fracción solar del sistema mes tras mes. El análisis realizado se ilustra en la figura 4.11.

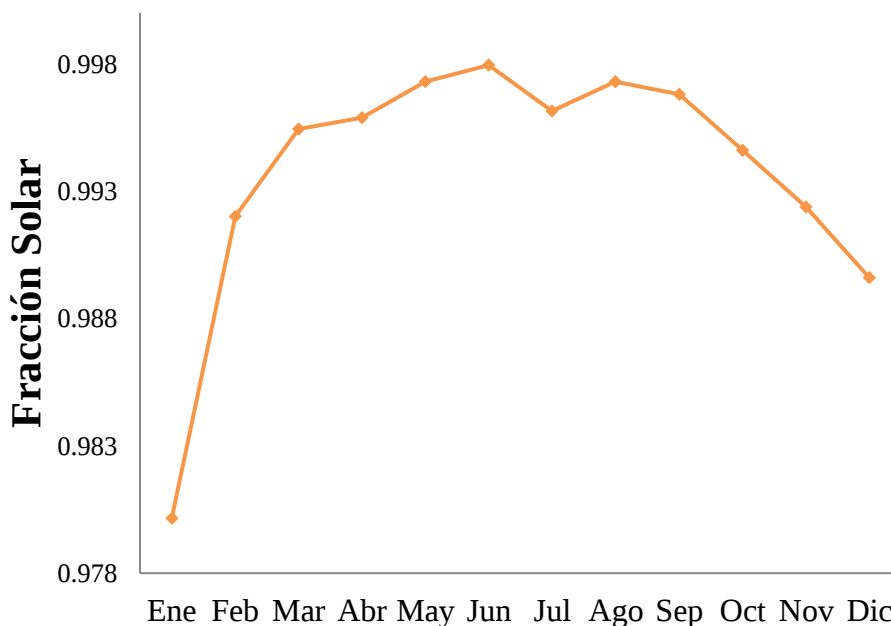


Figura 4.11 Fracción solar mensual del sistema de almacenamiento de energía termosolar.

Del análisis se obtiene que la mayor aportación de energía solar al proceso se da en los meses que comprenden de marzo a octubre, donde se tiene una aportación de energía solar superior al 99% de la energía térmica requerida por el proceso de biodiésel.

En la figura 4.12 se presenta una perspectiva global sobre la aportación de energía solar al proceso de producción de biodiésel por la vía ácida, donde las diferentes aportaciones de energía al proceso de producción son desglosadas. Es de resaltar, que el 99.163% de la energía requerida por el proceso es suministrada por el arreglo de colectores solares.

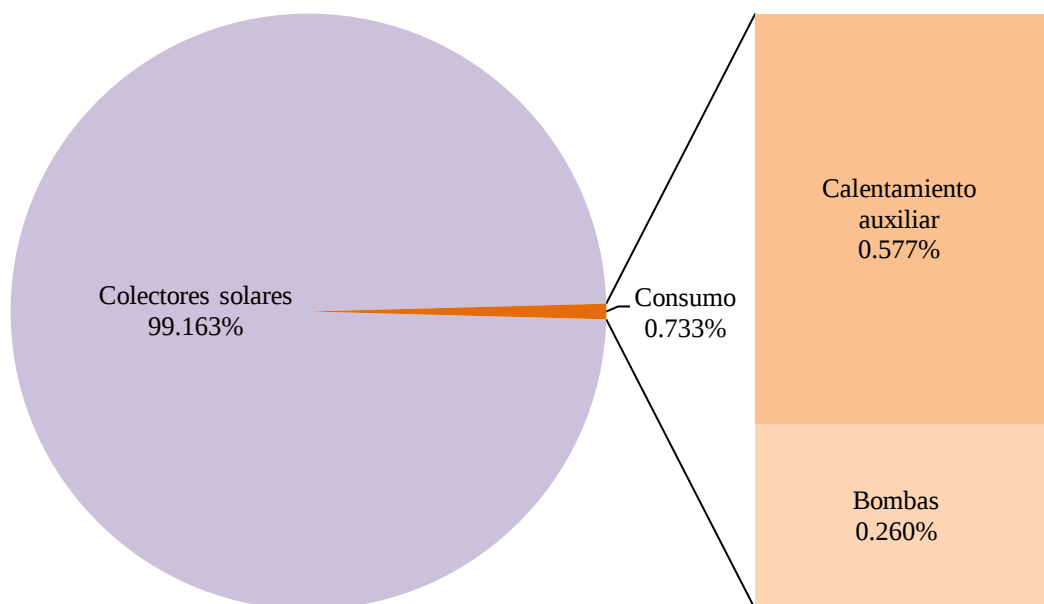


Figura 4.12 Aportaciones de energía al proceso de producción de biodiésel por la vía ácida.

4.3 Resultados de simulación de biodiésel en condiciones supercríticas

El proceso de producción de biodiésel en condiciones supercríticas, se simuló por medio del software ASPEN PLUS® y se diseñó para procesar un flujo de 100 kg/h de AVR de canola. Tanto el diagrama de simulación como las corrientes de importancia se describen en la figura 4.13 y la tabla 4.7, respectivamente.

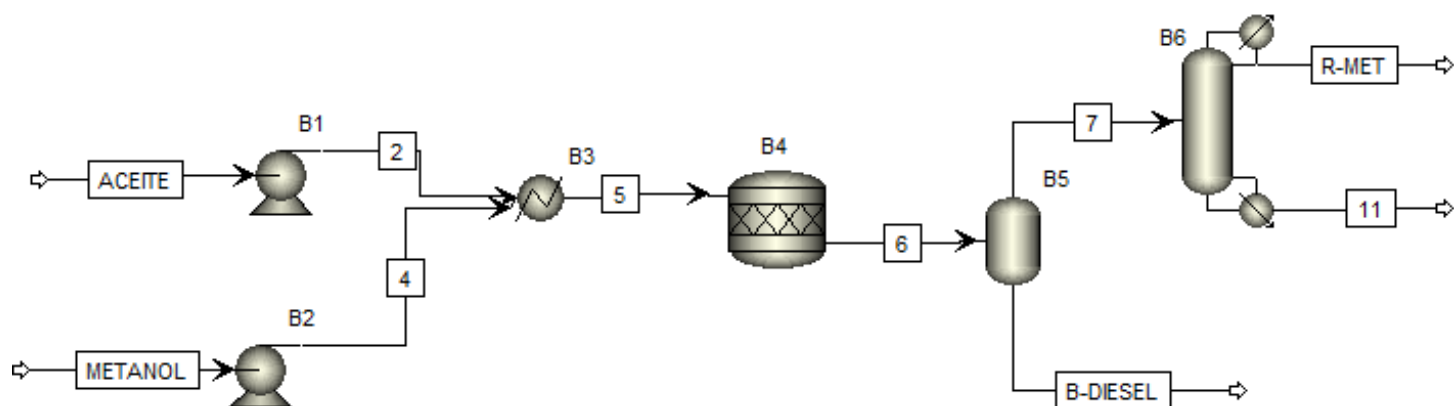


Figura 4.13 Diagrama en ASPEN PLUS del proceso de producción de biodiésel en condiciones supercríticas.

Tabla 4.7 Condiciones de operación y composiciones másicas de corrientes de simulación.

Corriente	ACEITE	METANOL	6	B-DIESEL	R-MET	11
Flujo másico (Kg/h)	100	39.59	139.5	109.64	17.09	12.86
T (°C)	25	25	350	95	75.5	178.4
P (kPa)	101	101	10000	101	101	101
TRIOLEIN	0.72	0	0.010	0.000	0.000	0.112
TRILINO	0.18	0	0.003	0.000	0.001	0.027
METANOL	0	1	0.138	0.017	0.987	0.042
A-OLEIC	0.06	0	0.001	0.001	0.000	0.000
A-LINO	0.03	0	0.000	0.001	0.000	0.000
A-LINOLEN	0.01	0	0.000	0.000	0.000	0.000
M-OLEATO	0	0	0.552	0.703	0.000	0.000
M-LINO	0	0	0.149	0.190	0.000	0.000
M-LINOLEN	0	0	0.007	0.009	0.000	0.000
G-M-E	0	0	0.096	0.076	0.000	0.396
H ₂ O	0	0	0.043	0.003	0.012	0.423

Con base en los resultados proporcionados por la simulación, el proceso de producción de biodiésel en condiciones supercríticas mantiene una producción de 107.17 Kg/h de biodiésel, lo cual representa el 95.4% de rendimiento en la obtención final de biodiésel. La etapa final de purificación del biodiésel es el separador flash B5, donde una de sus salidas es la corriente B-DIESEL, la cual está compuesta por un 97.75% de biodiésel. La corriente R-MET, que se encuentra a la salida de la columna B6, contiene un 98.7% de metanol que representa un 87.4% del metanol en exceso. La demanda energética del proceso se presenta en la tabla 4.8.

Tabla 4.8 Demanda energética del proceso de producción de biodiésel en condiciones supercríticas.

	Potencia (kW)
Bomba (B1)	6.935
Bomba (B2)	0.928
Intercambiador (B3)	30.037
Columna (B8)	13.502
Total	51.402

En la tabla 4.8 resalta que la mayor carga energética es requerida por el intercambiador B3, el cual se encarga de elevar la temperatura de los reactivos antes de entrar al reactor. El rehervidor de la columna B8, también requiere de un suministro de energía térmica, aunque en menor proporción. Para el suministro

de la energía térmica requerida por el proceso, se estructuró un sistema de captación y almacenamiento de energía solar.

4.3.1 Simulación de colectores solares

La alimentación de energía al proceso de producción de biodiésel se realizó por medio de vapor, el cual para ser producido requiere de un flujo constante de 220 kg/h de aceite térmico a 320°C. Esta estimación se logró a través de ASPEN PLUS®. En estas condiciones el HTF sólo se alcanza a generar el vapor suficiente para suplir al intercambiador (B3) con 22.9 kW de la potencia requerida, lo cual representa el 76.5% de la energía requerida por el módulo B3.

El software TRNSYS®, se utilizó para diseñar y evaluar un sistema de captación y suministro de energía térmica solar. El esquema del sistema se describe en la figura 4.14. Para un flujo constante de 220 kg/h de aceite a 320°C sería necesario un tanque de almacenamiento de aceite frío de 6 m³ y un tanque de almacenamiento de aceite caliente de 4 m³. Debido a la intermitencia del recurso solar, se consideraron flujos de salida distintos para el tanque 1 y tanque 2, siendo de 660 kg/h y 220 kg/h, respectivamente. Para la operación continua del proceso de biodiesel, el HTF necesario para el proceso se eleva a la temperatura adecuada en 8 horas aproximadamente.

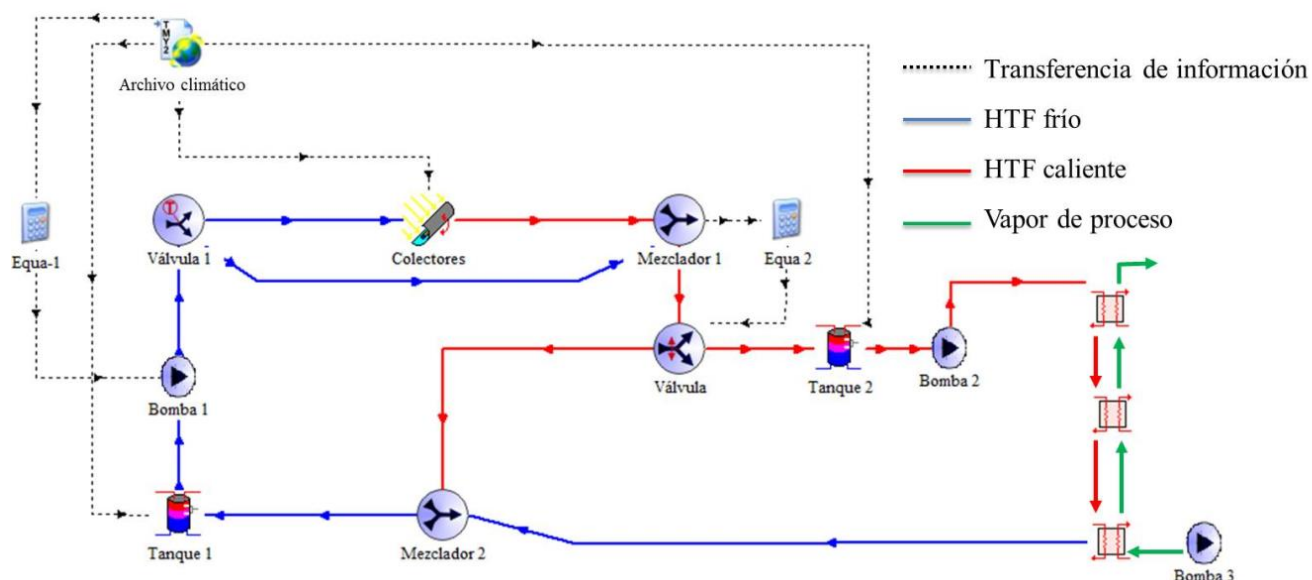


Figura 4.14. Diagrama de simulación en TRNSYS® del sistema de almacenamiento de energía termosolar.

En la figura 4.15, se ilustra la fracción solar anual aportada por diferentes arreglos en serie y paralelo. La fracción solar permite que sea evaluado el desempeño de diversos arreglos, al comparar cada tipo de arreglo con el ahorro de energía que este presenta.

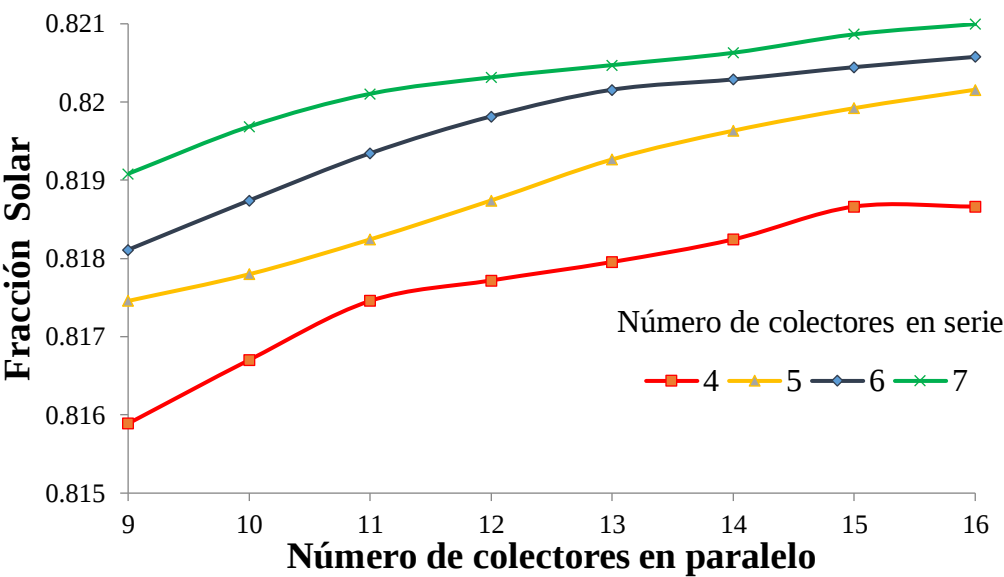


Figura 4.15. Comparativo de arreglos de colectores solares.

Con base en el análisis realizado, por medio de la fracción solar, se aprecia que el aprovechamiento de la energía solar aumenta a medida que se incrementa el número de colectores en serie y paralelo. La figura 4.15 ilustra como la fracción solar anual aprovechada por diferentes arreglos va desde 0.81 hasta 0.82 en los arreglos estudiados. También, se destaca que la variación en la fracción solar se reduce considerablemente a partir de 13 colectores en paralelo y 6 en serie.

Como resultado del estudio del sistema de almacenamiento de energía térmica para el proceso de producción de biodiésel en condiciones supercríticas, se obtuvo el arreglo de colectores que se describe en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Parámetros del arreglo de colectores parabólicos lineales.

Arreglo de colectores parabólicos lineales	
Colectores en serie	6
Colectores en paralelo	13
Área individual de colección	10 m ²
Área total de colección	780 m ²
Orientación azimutal	0°
Inclinación	Seguimiento solar en un solo eje

El sistema de almacenamiento pierde energía térmica en el tanque 2, por lo que es necesario un sistema de calentamiento auxiliar. En la figura 4.16 se ilustra el ahorro de energía que proporciona el sistema de colectores solares al proceso de producción de biodiésel, así como la energía consumida por el mismo sistema. El ahorro de energía representa la energía aprovechada por el proceso de producción de biodiésel proporcionada por los colectores. La energía consumida por el sistema, consiste en el calentamiento auxiliar requerido y la energía consumida por las bombas.

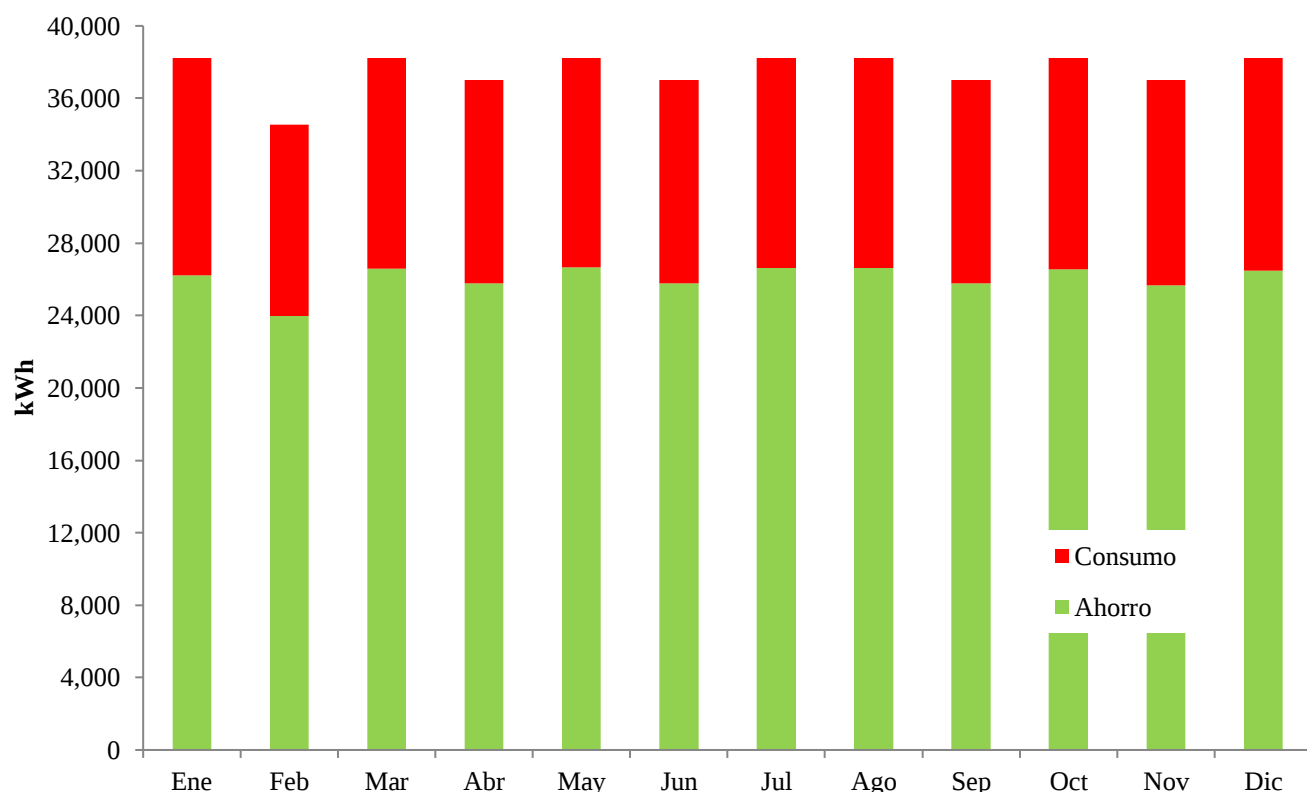


Figura 4.16 Ahorro y consumo mensual de energía del sistema de almacenamiento de energía termosolar.

De acuerdo con los objetivos planteados al inicio de esta investigación, el arreglo de colectores propuesto acoplado al proceso de producción de biodiésel en condiciones supercríticas, reduce el consumo de energía producida por la quema de combustibles fósiles. Se realizó un análisis con base en la fracción solar mensual con el fin de analizar el comportamiento del sistema mes tras mes, representado en la figura 4.17.

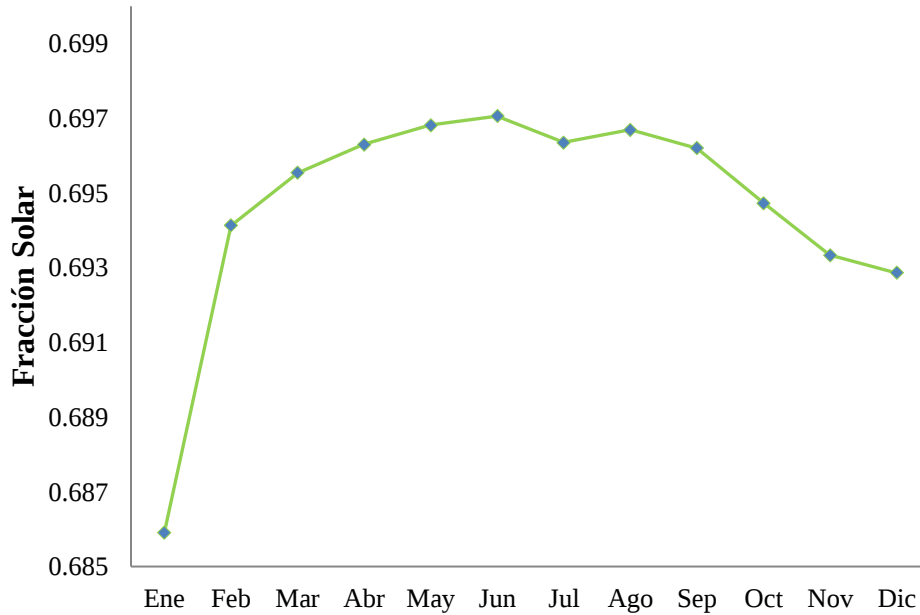


Figura 4.17. Fracción solar mensual del sistema de almacenamiento de energía termosolar

En la figura anterior se aprecia que la mayor aportación de energía solar al proceso se da en los meses que comprenden de marzo a septiembre, donde se tiene una aportación de energía solar superior al 69.5% de la energía térmica requerida por el proceso de biodiésel. Con pico de suministro de 69.7% en el mes de junio.

En la figura 4.18, se desglosan las diferentes aportaciones de energía al proceso de producción de biodiésel anualmente. En donde, el 69.49% de energía requerida por el proceso es suministrada por el arreglo de colectores solares.

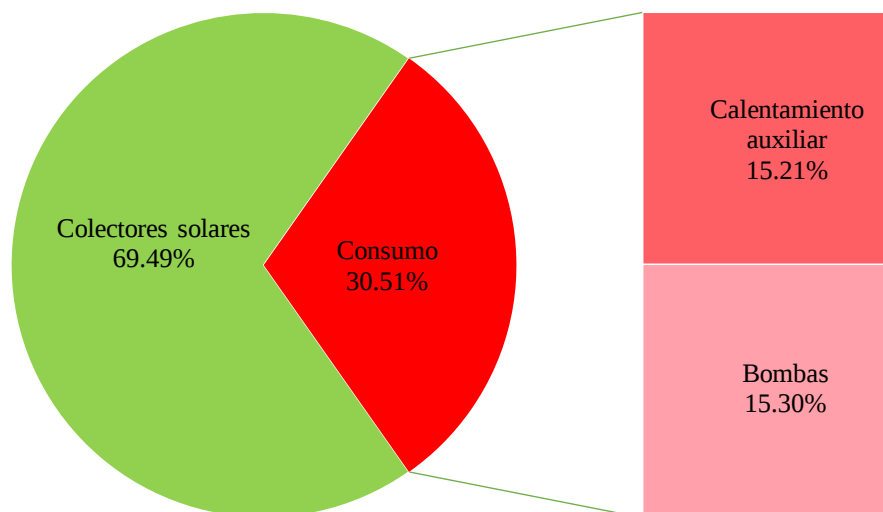


Figura 4.18. Aportaciones de energía anual al proceso de producción de biodiésel en condiciones supercríticas

4.4 Análisis de impacto ambiental

Con base en la metodología establecida por el algoritmo WAR desarrollado por la EPA, se realizó un estudio comparativo del posible impacto ambiental que podría provocar la producción de biodiésel.

El software desarrollado por la EPA permite evaluar el impacto ambiental de diversos casos de estudio simultáneamente. Para esto, se toman en cuenta las materias primas utilizadas para cada proceso, los productos obtenidos a partir del proceso, los residuos generados y la energía consumida por el proceso. El algoritmo WAR se basa en las diferentes características de cada uno de los reactivos utilizados en el proceso, para determinar el PEI por unidad de masa de producto obtenido.

Primeramente, se evaluó el impacto de cada uno de los procesos de producción de biodiésel estudiados, contrastándolos con los mismos procesos pero sin utilizar colectores solares para el suministro de energía. Los tres procesos de producción de biodiésel que se analizaron fueron en condiciones supercríticas (Bio SC), catálisis ácida (Bio Ac) y catálisis alcalina (Bio Al). En la figura 4.19 se observa el comparativo del impacto ambiental aportado por cada uno de los procesos.

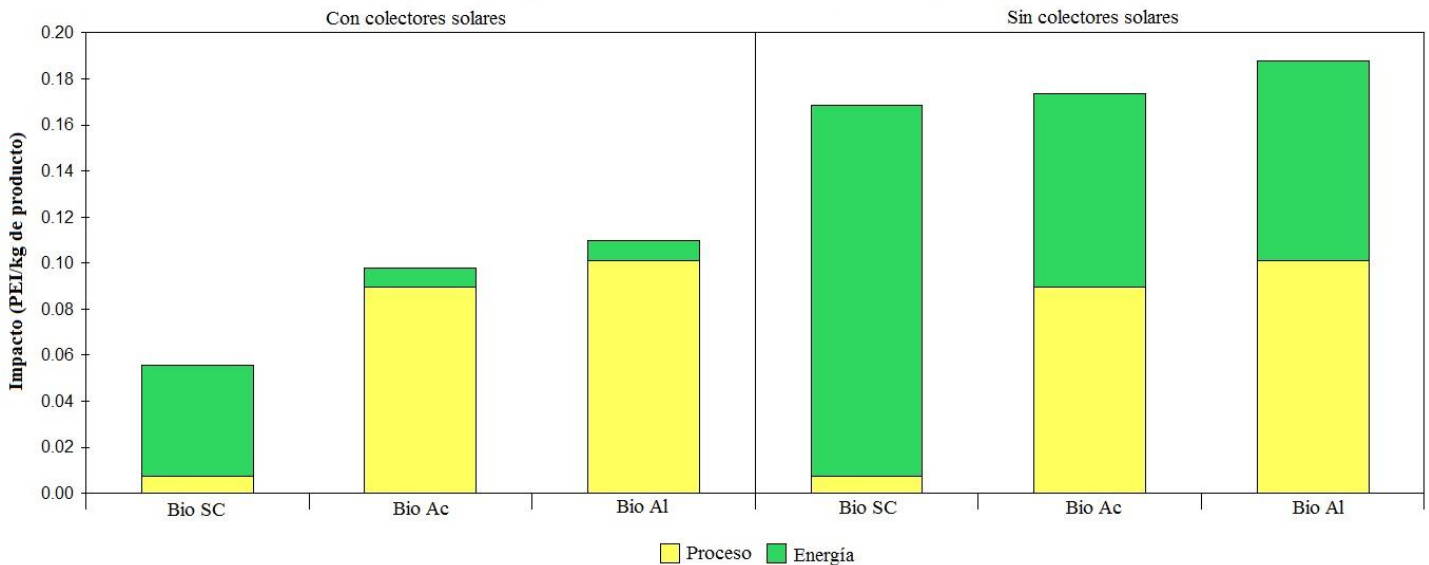


Figura 4.19. Impacto ambiental aportado por caso de estudio

En el comparativo se encuentran descritas las aportaciones al impacto tanto del proceso como de la energía utilizada por el mismo. El algoritmo WAR toma en cuenta el impacto generado al producir la energía requerida por el proceso. La figura 4.19 resalta claramente que el impacto ambiental es considerablemente mayor cuando la energía de cada proceso es suministrada completamente por la quema de combustibles

fósiles. En el caso de los procesos de producción de biodiésel en donde su fuente principal de energía es la energía térmica captada por medio de colectores solares, también se tiene un impacto debido a la energía del proceso. Esta se refiere a la energía auxiliar aun requerida por los procesos y generada a partir de fuentes no renovables de energía.

Una vez evaluada cómo la aplicación de colectores solares para el suministro de energía reduce significativamente el impacto ambiental de la producción de biodiésel, se prosiguió a comparar la aportación al impacto ambiental de cada una de las características evaluadas por el algoritmo WAR. Esto permitió mejorar la comprensión de cada aspecto ambiental que está siendo impactado por cada uno de los procesos y de ésta manera tomar decisiones sobre el ajuste de los procesos. En la figura 4.20 se representa la aportación al impacto ambiental de cada proceso dividido por aspecto ambiental.

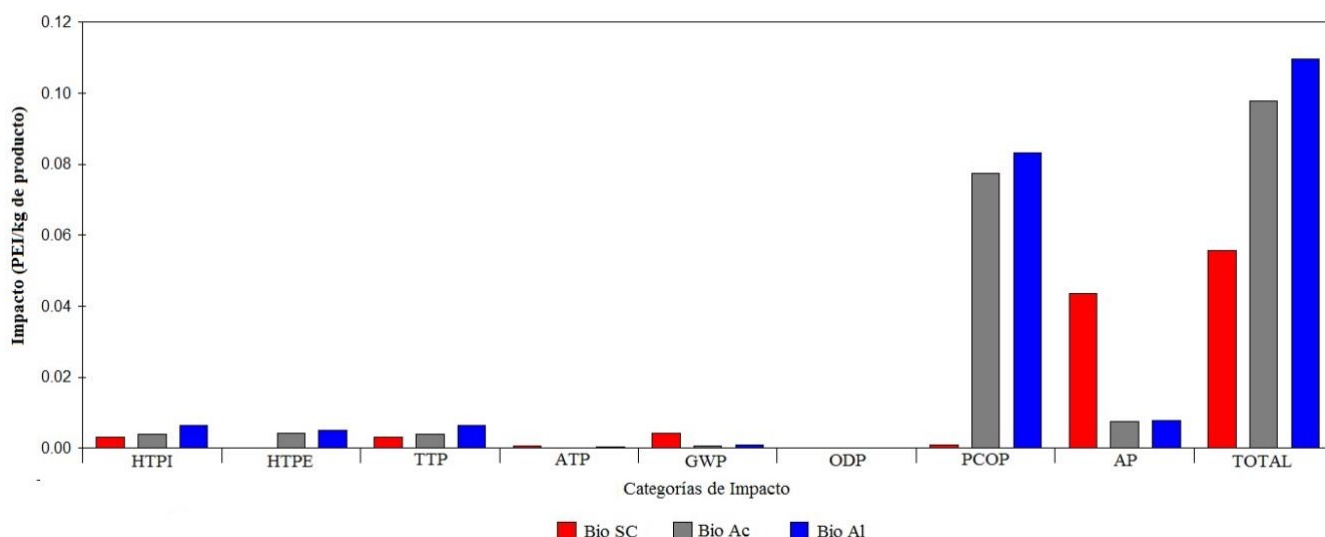


Figura 4.20. Impacto ambiental dividido por categoría de impacto.

De acuerdo con lo mostrado por la figura 4.20, los mayores impactos al ambiente producidos por los procesos de producción de biodiésel se presentan en dos aspectos principalmente, PCOP y AP. La categoría de impacto PCOP representa la cantidad de compuestos orgánicos volátiles (VOC por sus siglas en inglés) emitidos por el proceso. En tanto la categoría AP representa el impacto ambiental generado por la emisión de sulfatos al momento de generar energía por medio de combustibles fósiles, los cuales permiten la formación de lluvia ácida, lo cual impacta tanto el aire como el suelo de las áreas próximas a la ubicación de la generación de energía.

El alto impacto en la categoría PCOP generado por el proceso de producción de biodiésel ácido y alcalino, comparado con el proceso en condiciones supercríticas, es debido principalmente a que el proceso en condiciones supercríticas recupera un 98% del metanol sin reaccionar y reintegrarlo al proceso. En tanto, los procesos ácido y alcalino recuperan entre un 78% y un 85% del metanol de proceso, respectivamente. El índice AP, es notablemente mayor para el proceso en condiciones supercríticas pues este requiere de una mayor energía auxiliar, la cual es producida por medio de combustibles fósiles. En tanto, el índice AP es similar para los procesos de producción de biodiésel por la vía ácida y alcalina pues su energía es mayormente suministrada por energía térmica solar. Reflejando así, un impacto bajo de la categoría de impacto AP comparado con el proceso en condiciones supercríticas.

Debido a que el algoritmo WAR no sólo toma en cuenta las sustancias utilizadas en el proceso, sino también los productos y residuos formados a partir de ellas, se obtiene una evaluación del impacto global que genera todo el proceso. Considerando el impacto que produce cada sustancia utilizada en el proceso como impacto de salida y siendo el impacto generado la resta del impacto de los productos menos la materia prima. El comparativo del impacto de salida de cada proceso así como su impacto global generado es mostrado en la figura 4.21.

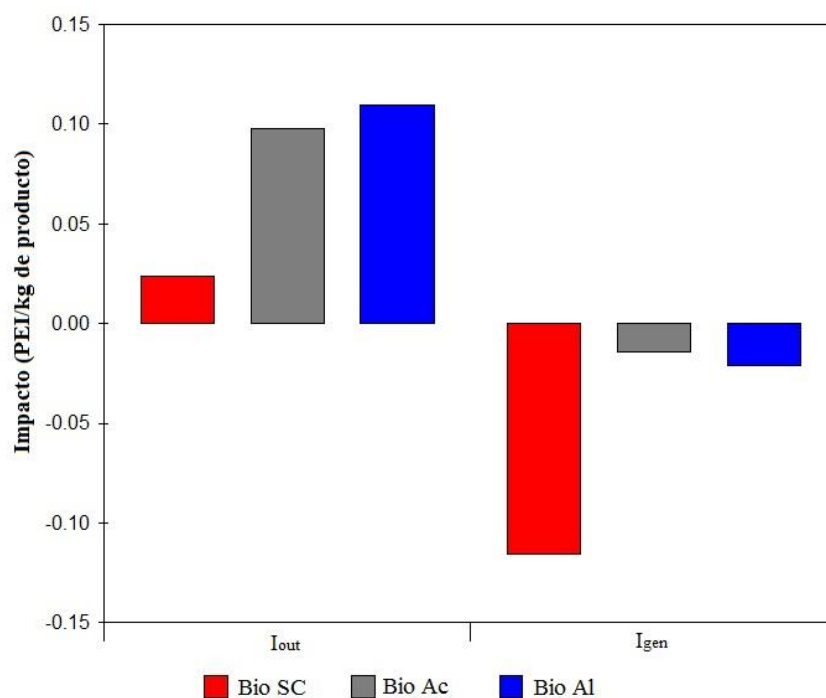


Figura 4.21. Impacto de salida y generador por cada proceso.

En la figura 4.21 se observa como el impacto ambiental de salida es notablemente menor en el proceso de

producción de biodiésel en condiciones supercríticas comparado con los impactos de los procesos de producción por la vía ácida y alcalina.

Si se analiza el impacto generado, se percibe, como todos los procesos de producción de biodiésel tienen una generación de impacto ambiental negativa, lo cual significa que los productos formados en dichos procesos generan un menor impacto que las materias primas utilizadas para la producción de biodiésel. Siendo el proceso en condiciones supercríticas el que ofrece un menor impacto ambiental.

A pesar de que la cantidad de energía requerida por el proceso en condiciones supercríticas es mayor al resto de los procesos, aún con el apoyo de colectores solares para el suministro de energía, la generación de impacto ambiental resulta menor en este proceso, debido a que las características del mismo le permiten utilizar los recursos de una manera más eficiente y así reducir los residuos generados.

4.5 Análisis Económico

Como parte final del estudio presentado en este documento, se realizó un análisis económico de los tres procesos de producción de biodiésel simulados y se consideró la utilización de colectores solares para el suministro de energía a dichos procesos.

El análisis económico comprendió en evaluar la construcción del proceso de producción de biodiésel y el sistema de almacenamiento de energía solar, con las especificaciones obtenidas a partir de las simulaciones realizadas. Para el análisis fueron considerados los costos de instalación, operación y mantenimiento del proceso, así como los ingresos y egresos generados del mismo. El estudio económico se proyectó para un periodo de 5 años de operación, en los cuales se consideró una inflación del 5.5% promedio anual y valor de recuperación al término de los 5 años de cero.

En este estudio económico, se compararon para cada uno de los procesos de producción de biodiésel la viabilidad económica de la operación de dichos procesos, tomando en cuenta la tasa interna de retorno (TIR) de la inversión, el número de periodos en que se paga la inversión y el índice de rentabilidad (IR) del proyecto.

En la tabla 4.10 se describen las cantidades y precios unitarios de las materias primas utilizadas por cada proceso, así como también la energía requerida y su precio unitario para el sector industrial de baja tensión en Mexicali, Baja California.

Tabla 4.10 Cantidades mensuales de recursos requeridos por proceso.

Materia prima (m³)	Proceso			Precio unitario (M.N./m³)
	Bio Al	Bio Ac	Bio SC	
Agua para proceso	46.2	46.2	-	\$470.00
Metanol	9.4	17.5	23.0	\$7,918.00
Sosa caustica	0.2	-	-	\$1,321.91
Ácido sulfúrico	0.1	0.1	-	\$2,213.89
AVR	50.3	50.3	50.3	\$4,500.00
Agua para vapor	8.0	4.8	8.0	\$470.00
HTF	4.5	6.0	3.0	\$1,700.00
Energía Auxiliar (kWh)				
Electricidad	105.3	104.1	5,921.3	\$1.50

Las cantidades de materia prima requeridas por cada proceso varían, especialmente en el proceso en condiciones supercríticas, donde por las características de dicho proceso no se requieren de catalizadores o agua para el lavado del biodiésel. Sin embargo, es también por las características del proceso en condiciones supercríticas que la energía requerida mensualmente es considerablemente mayor a la de los otros procesos. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la energía requerida por cada proceso es considerada energía auxiliar, pues la principal fuente de energía de cada proceso es la energía térmica proveniente del sistema de captación solar.

La tabla 4.11 nos da una relación general de los equipos requeridos por cada proceso y su costo estimado. En donde, se observa que aún cuando el equipo requerido para el proceso en condiciones supercríticas es menor, el costo total del equipo es cercano al doble comparado con los procesos por catálisis alcalina o ácida. Debido a la simplicidad del proceso, este no requiere de reactor de esterificación, decantador o neutralizador, pues la ausencia de catalizadores hace más simple la purificación del biodiésel. Sin embargo, las condiciones de reacción hacen necesario un reactor de transesterificación más sofisticado y por lo tanto más costoso. El alto consumo de energía para mantener las condiciones de operación del proceso en condiciones supercríticas, produce la necesidad de un arreglo de colectores superior en extensión comparado con lo requerido por los demás procesos. Aumentando así el costo total del equipo requerido por el proceso en condiciones supercríticas.

Tabla 4.11. Costo de equipo requerido por proceso (M.N)

Equipo	Bio Al	Bio Ac	Bio SC
Reactor de Esterificación	\$300,000.00	\$300,000.00	-
Reactor de Transesterificación	\$300,000.00	-	\$450,000.00
Decantador	\$4,000.00	\$4,000.00	-
Separador Flash	\$5,000.00	\$5,000.00	\$5,000.00
Neutralizador	\$1,000.00	\$1,000.00	-
Columna de destilación	\$1,000,000.00	\$1,000,000.00	\$1,000,000.00
Tanques	\$187,000.00	\$184,000.00	\$111,000.00
Bombas	\$8,100.00	\$6,850.00	\$5,600.00
Coletores solares	\$2,176,000.00	\$2,380,000.00	\$5,304,000.00
Total	\$3,981,100.00	\$3,880,850.00	\$6,875,600.00

A continuación en la tabla 4.12, se describe de manera general el costo total de inversión para la implantación de cada uno de los procesos estudiados.

Tabla 4.12. Desglose de Inversión total por proceso

	Bio Al	Bio Ac	Bio SC
INVERSIÓN FIJA			
Incluyendo			
-Obra civil	\$10,253,213.98	\$9,961,707.79	\$14,157,191.17
-Maquinaria y equipo			
INVERSIÓN DIFERIDA			
incluyendo			
-Licencias y permisos oficiales	\$560,000.00	\$560,000.00	\$560,000.00
CAPITAL DE TRABAJO			
incluyendo			
-Consumibles			
-Renta de servicios	\$1,112,352.23	\$1,168,143.01	\$1,439,617.48
-Mantenimiento			
-Salarios			
INVERSIÓN TOTAL	\$11,925,566.21	\$11,689,850.80	\$16,156,808.64

De acuerdo con el capital de trabajo, que representa los egresos necesarios para la operación de la planta, y al volumen de producción establecido por las simulaciones realizadas, es posible determinar el costo de producción mensual y el costo de producción por litro de biocombustible. En la tabla 4.13, se describen estos costos para cada proceso.

Tabla 4.13 Costos de producción por proceso			
	Bio Al	Bio Ac	Bio SC
Costo de Producción Mensual	\$727,666.97	\$790,733.18	\$841,792.32
Costo por Litro Producido	\$14.19	\$15.40	\$14.41

Los costos de producción mensual son mayores para el proceso en condiciones supercríticas debido a su consumo de energía auxiliar. Sin embargo, la ventajas del proceso le permiten tener una mayor producción de biocombustible comparada con los procesos alcalinos y ácidos, lo que permite que su costo por litro producido se encuentre ligeramente por arriba del proceso alcalino y casi una unidad por debajo del proceso ácido.

Para el análisis económico en el periodo de 5 años, se consideró que el 80% de la inversión fija se proviene de créditos bancarios, en tanto el 20% restante de inversionistas privados. Se consideró una tasa de interés interbancario promedio anual de 6.5%, para los tres procesos. En las figuras 4.22, 4.23 y 4.24 se presenta el flujo de efectivo acumulado para cada periodo del análisis.

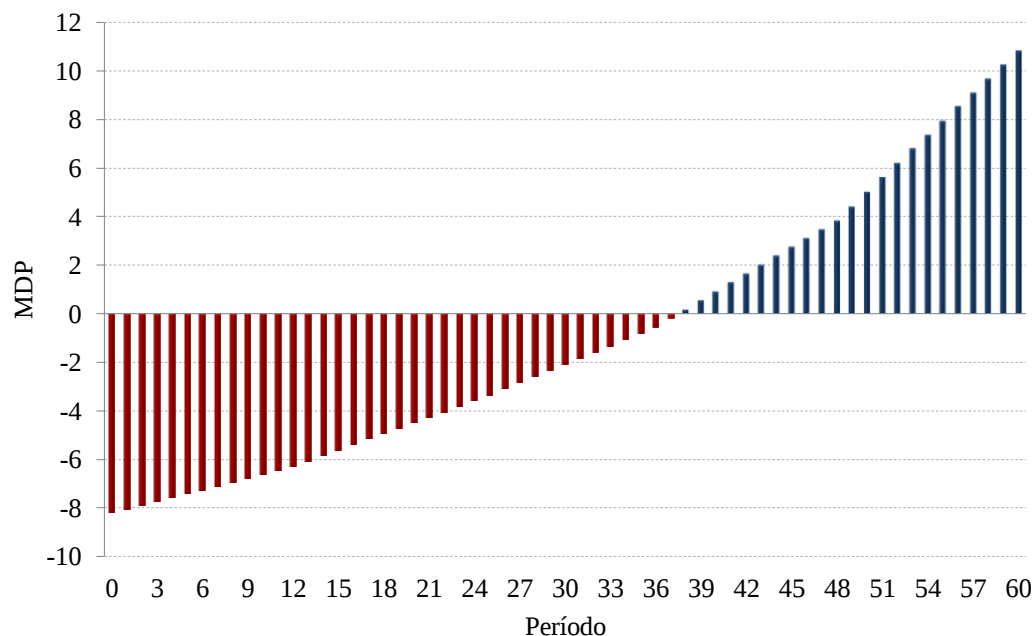


Figura 4.22. Flujo de efectivo acumulado para el proceso de producción de biodiésel por la vía alcalina.

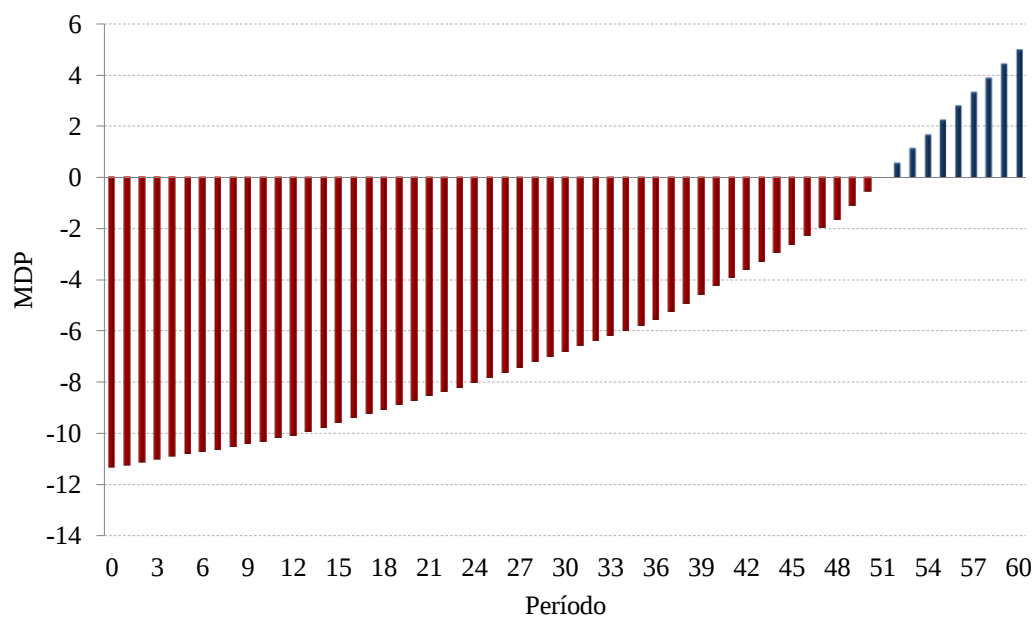


Figura 4.23. Flujo de efectivo acumulado para el proceso de producción de biodiésel por la vía ácida.

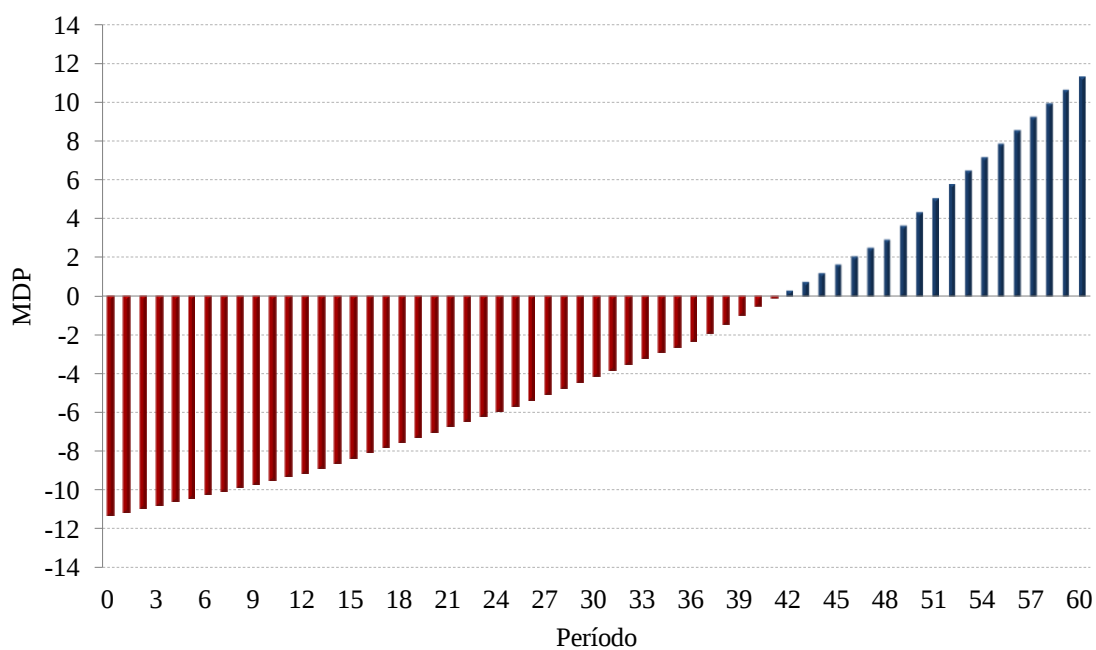


Figura 4.24. Flujo de efectivo acumulado para el proceso de producción de biodiésel en condiciones supercríticas.

El análisis económico mostró que el proceso alcalino tiene la mejor TIR y un mejor IR, comparado con los otros procesos. En la tabla 4.14, se encuentra el comparativo del rendimiento de cada proceso para un periodo de 5 años de operación.

Tabla 4.14 Rendimiento financiero a 5 años por proceso.

	Bio Al	Bio Ac	Bio SC
TIR Anual	36.4%	28.1%	30.3%
TIR Mensual	3.0%	2.3%	2.5%
IR	1.445	1.231	1.266

El IR mide la cantidad en que aumenta la inversión en relación con cada unidad monetaria invertida, lo que significa que representa la rentabilidad económica del proceso, en otras palabras los beneficios económicos obtenidos. El proceso por la vía alcalina tiene un mayor beneficio económico que el resto de los procesos.

5. Conclusiones y recomendaciones

La presente tesis tuvo como objetivo principal llevar a cabo una evaluación integral de diversos procesos de producción de biodiésel a partir de aceites vegetales residuales como materia prima y energía térmica solar como fuente principal de energía. Esto se logró debido a la integración de dos software de simulación, ASPEN PLUS® y TRNSYS®, mediante los cuales se diseñaron y evaluaron diversos procesos de producción de biodiesel, asimismo diferentes arreglos de colectores solares para el suministro de energía. Como parte de los objetivos específicos del trabajo, se realizó una revisión exhaustiva del estado del arte sobre diversos procesos de producción de biodiesel y del mismo modo sobre tecnologías para el aprovechamiento de energía solar con propósitos industriales. Tras estudiar diversos procesos de producción de biodiesel con aceites vegetales residuales como materia prima, se seleccionaron tres vías diferentes de producción, se simularon para el acoplamiento de energía térmica solar al proceso. Cada proceso de producción de biodiesel tuvo requerimientos de energía diferentes, lo que implicó el análisis de diversos arreglos de colectores solares para el suministro de la energía demandada. También, se evaluó tanto el impacto ambiental como el económico de cada uno de los procesos estudiados. A continuación, se describe una serie de conclusiones que se desprenden del análisis de las diversas etapas del trabajo realizado.

La utilización de aceites vegetales residuales tiene un impacto directo positivo al ambiente, pues su disposición en ocasiones no es la adecuada, en particular cuando se trata de aceites vegetales utilizados para la cocción de alimentos a nivel doméstico.

El uso de aceites vegetales residuales para la producción de biodiésel tiene una influencia directa tanto en el costo final del biodiésel producido como en el diseño del proceso. Diversos métodos de producción implican ciertas consideraciones cuando manejan AVR como materia prima.

Por lo que al utilizar AVR como fuente de materia prima para la simulación de la producción de biodiesel, se realizó un modelo de equivalencia de componentes. Esto con la finalidad de obtener una composición más representativa y apegada a la realidad del AVR. Para dicho modelo, se revisó ampliamente la literatura sobre la composición de AVR y aceites vegetales comúnmente utilizados para la cocción de alimentos.

Con el software ASPEN PLUS® se realizaron tres diferentes simulaciones para la producción de biodiésel, dos vías catalíticas y una no catalítica: biodiésel por vía alcalina, biodiésel por vía ácida y biodiésel en condiciones supercríticas. Al trabajar con AVR como materia prima, el proceso por la vía alcalina requiere una etapa de esterificación ácida para así reducir el nivel de AGL y evitar la saponificación al tener contacto con un álcali. Esto no representa un problema en el proceso por la vía ácida ya que

simultáneamente esterifica AGL y triglicéridos en biodiésel, sin embargo, la relación de metanol-aceite requerida aumenta para este proceso.

El proceso en condiciones supercríticas tampoco requiere mayores ajustes por el uso de AVR y las etapas de purificación de biodiésel se simplifican por la ausencia de un catalizador. Aunque el aumento de energía consumida por el proceso es significativo.

Los tres procesos simulados consideraron un 95% en la conversión de AVR a biodiésel, sin embargo, los procesos de purificación del biocombustible para cada proceso determinaron el rendimiento en la obtención de biodiésel. En el proceso en condiciones supercríticas se logró obtener una mayor purificación del biodiésel con un 97.75%.

El proceso en condiciones supercríticas logró obtener la mayor recuperación de metanol sin reaccionar con un 98%. En tanto, el proceso por la vía ácida sólo recuperó el 78%.

El proceso en condiciones supercríticas requiere una mayor cantidad de energía, con una potencia de 51.4 kW para la operación del proceso. Esto es debido a las altas condiciones de temperatura y presión a la que se debe mantener el proceso.

La aplicación de colectores parabólicos lineales es de gran importancia para procesos industriales que requieren energía térmica a temperaturas medias entre 150°C-400°C. En la implantación de energía solar en procesos de producción de biodiésel, los colectores parabólicos lineales resuelven un importante problema, pues aunque las temperaturas de reacción de procesos convencionales son relativamente bajas (alrededor de 65°C), las etapas de purificación del biocombustible requieren energía térmica a temperaturas superiores a los 150°C.

Con el software TRNSYS®, se diseñó un sistema de almacenamiento térmico solar para el suministro de energía térmica a cada proceso estudiado. En dichos sistemas debido a la intermitencia del recurso solar, se desarrolló una lógica específica para el calentamiento de un HTF y generar vapor de proceso de forma continua.

Para la determinación de cada arreglo de colectores necesario para suplir las necesidades energéticas de los procesos de producción de biodiésel, se llevó cabo un análisis basado en la fracción solar obtenida por diversos arreglos de colectores. Por medio de ASPEN PLUS®, se determinaron para cada uno de los procesos de producción de biodiésel, los flujos y temperaturas de vapor requerido. En donde, el proceso en condiciones supercríticas requirió vapor a una temperatura de 320°C, considerablemente mayor a la de los otros procesos estudiados, alrededor de 200°C. En consecuencia, se obtuvieron diferentes arreglos para cada proceso. Para el proceso por la vía alcalina se determinó un arreglo de 4 colectores en serie y 8 en

paralelo, para el proceso por la vía ácida 5 en serie y 7 en paralelo, y el proceso en condiciones supercríticas 6 en serie y 13 en paralelo.

Las simulaciones realizadas en TRNSYS® mostraron que, para los procesos por la vía alcalina y ácida, es posible suministrar cerca del 99% de la energía requerida por el proceso con energía térmica solar. Mientras que para el proceso en condiciones supercríticas sólo fue posible suministrar el 69.49% de la energía con el sistema de colectores solares. El resto de la energía requerida por cada proceso de producción de biodiésel, fue suministrado por una fuente de energía auxiliar.

Al demandar una mayor cantidad de energía, el proceso en condiciones supercríticas, requiere que el área de colección del sistema de colectores solares sea mucho mayor al resto de los procesos analizados.

Independientemente de las necesidades energéticas de cada proceso, todos los sistemas de captación de energía solar simulados obtuvieron sus mayores rendimientos entre los meses de Marzo y Octubre. Siendo esto, una muestra de que en Mexicali, Baja California se cuentan con condiciones climáticas favorables para la explotación del recurso solar.

El uso de energía solar como fuente energía primaria tuvo un efecto notablemente positivo, lo cual se evidencia en el análisis de impacto ambiental realizado. De acuerdo con el análisis de impacto ambiental realizado para cada proceso, el mayor impacto es generado por la emisión de compuestos orgánicos volátiles. En los procesos de producción de biodiésel esto se debe al uso de metanol como reactivo necesario para la reacción. Siendo los procesos por la vía alcalina y ácida los mayores aportadores a este impacto.

El proceso en condiciones supercríticas tiene su mayor impacto ambiental en el potencial de acidificación del aire, lo cual genera lluvia ácida, debido al alto consumo de energía requerida por el proceso.

A pesar de que todos los procesos tienen un impacto al ambiente al considerar los residuos que generan, si se toma en cuenta que parte de la materia prima utilizada por los procesos es un residuo y que la mayor parte de la energía requerida por el proceso es suministrada con energía solar, los procesos analizados tienen un impacto al ambiente positivo. Esto significa que los productos obtenidos afectan en una menor proporción al ambiente que los reactivos utilizados.

También se realizó un análisis económico de los procesos propuestos. Los procesos de producción de biodiésel se ven altamente beneficiados al utilizar AVR como materia prima, no sólo ambientalmente, sino también económicamente por su bajo costo. Impactando directamente en el costo final de producción, pues tienen un costo menor comparado con aceites vegetales extraídos específicamente con el propósito de producir biodiésel.

La inversión mayoritaria para los tres procesos se encuentra en el sistema de colección de energía solar. Principalmente, en el sistema especificado para el proceso en condiciones supercríticas. A pesar del aumento que representa en la inversión inicial el uso de colectores solares para el suministro de energía, los costos de producción se ven beneficiados por la disminución en el consumo de energía eléctrica convencional.

El costo final de producción, resultó menor para el proceso por la vía alcalina, con \$14.19 M.N. por litro producido. Los procesos restantes, proceso ácido y en condiciones supercríticas, tuvieron un mayor costo de producción de \$15.4 y \$14.4 M.N., respectivamente. Los precios actuales de combustibles convencionales, como el diésel, permiten que los costos de producción del biodiésel sean competitivos si se mantiene un nivel de producción elevado.

A través de una evaluación a 5 años de operación, el proceso de producción de biodiésel por la vía alcalina resultó mayormente rentable que los otros dos procesos estudiados. El proceso alcalino, obtuvo beneficios económicos a partir del tercer año de operación y una tasa interna anual de retorno del 36.4%. El proceso por la vía ácida tuvo la menor TIR anual, con 28.1%. En tanto el proceso en condiciones supercríticas una TIR anual de 30.3%. En general, los tres procesos presentan un moderado beneficio económico, el cual debe ser tomado en cuenta al momento de invertir en dichos procesos.

Tras la evaluación integral de los tres métodos de producción de biodiesel y su acoplamiento con energía solar, el proceso producción de biodiésel por la vía alcalina presenta las mejores ventajas. Al aprovechar cerca del 99% de sus requerimientos energéticos a partir de energía solar, le permite disminuir su consumo de energía obtenida a partir de combustibles fósiles. Por último, su mayor ventaja frente a los otros dos procesos es su viabilidad económica. En donde, pese a ser un proceso con un número mayor de etapas y complejidad aparente, la producción de biodiésel por la vía alcalina es ampliamente estudiada y con aplicaciones industriales más establecidas. Esto implica un menor costo en los equipos de producción, comparado con los equipos para el proceso en condiciones supercríticas, además de un consumo de energía mucho menor.

El presente trabajo de investigación tiene una importancia significativa en el avance del estudio de las energías renovables y biocombustibles. A pesar de que el uso de energía solar como fuente de energía ha sido ampliamente estudiado, su aplicación en la producción de biodiesel es novedoso. Las implicaciones ambientales y económicas del acoplamiento de la energía solar para este tipo de procesos son de gran importancia en el desarrollo de nuevas fuentes de energía limpia, pues busca fomentar la producción de energía de manera responsable con el medio ambiente a un precio competitivo. Aun cuando en la literatura

se encontraron otros trabajos enfocados en esta área, en el presente trabajo de investigación se evaluaron diferentes métodos de producción y se consideraron en el análisis las condiciones climáticas locales, las cuales afectan significativamente el comportamiento real de la captación del recurso solar.

Para la continuación de esta investigación, es necesario pasar a una etapa experimental en la que se presentan diferentes retos y será necesario la colaboración de investigadores de diversas áreas del conocimiento. Especialmente, el sistema de suministro y almacenamiento de energía solar. A pesar de que diversas tecnologías solares ya han sido ampliamente investigadas, la aplicación de estas en la producción de biodiesel sigue presentando un área de oportunidad y requiere ser profundamente investigada antes de entrar a una etapa de industrialización.

Anexos

Artículos en revistas

José A. León, Gisela Montero, Marcos Coronado, José R. Ayala, Conrado García, Aníbal Luna and Ana M. Vázquez. Solar Energy for a Solvent Recovery Stage in a Biodiesel Production Process. International Journal of Photoenergy. Hindawi Publishing Corporation, vol 2016, article ID 1048095, 7 pages.

José R. Ayala, Gisela Montero, Héctor E. Campbell, Conrado García, Marcos A. Coronado, José A. León, Carlos A. Sagaste & Laura J. Pérez. Extraction and Characterization of Orange Peel Essential Oil from Mexico and United States of America. Journal of Essential Oil Bearing Plants. Taylor & Francis group, vol. 2017, ISSN 0976-5026, doi: 10.1080/0972060X.2017.1364173.

M. Coronado, G. Montero, C. García, R. Torres, A. Vázquez, R. Ayala, J. León, L. Pérez, E. Romero. Cotton stalks for power generation in Baja California, Mexico by SWOT analysis methodology. WIT Transactions on Ecology and The Enviroment, vol 195 2015 ISSN 1743-3541, doi: 10.2495/ESUS150071.

C. García, G. Montero, M. Coronado, R. Torres, A. M. Vázquez, J. R. Ayala, J. A. León, C. A. Sagaste. Power generation estimation from wheat straw in Mexico. WIT Transactions on Ecology and The Enviroment, vol 195 2015 ISSN 1743-3541, doi: 10.2495/ESUS150091.

Capítulos de libro

G. Montero, M. Stoytcheva, M. Coronado, C. García, J. Cerezo, L. Toscano, A. M. Vázquez, J.A. León, “An Overview of Biodiesel Production in Mexico”, In: *Ph.D. Krzysztof Biernat (Ed.), Biofuels : Status and Perspective*, InTech, Croatia, 2015. ISBN: 978-953-51-2177-0, DOI: 10.5772/59400. Online version available at: <http://www.intechopen.com/books/biofuels-status-and-perspective/an->

Propiedad intelectual

León Valdez José Angel, Ayala Bautista José Ramón, Coronado Ortega Marcos A., García González Conrado, Montero Alpírez Gisela, Pérez Pelayo Laura Janet, Sagaste Bernal Carlos Alfonso. Simulación de un sistema de almacenamiento de energía termosolar para un proceso de producción de biodiesel. Número de registro 03-2015-101510175400-01. Fecha de registro: 22 octubre 2015. Rama: Compilación de datos (Base de datos).

Ayala Bautista José Ramón, Coronado Ortega Marcos A., García González Conrado, León Valdez José Angel, Montero Alpírez Gisela, Pérez Pelayo Laura Janet, Sagaste Bernal Carlos Alfonso. Cálculo energético en la extracción de aceite esencial de eucalipto. Número de registro 03-2015-101510163600-01. Fecha de registro: 22 octubre 2015. Rama: Compilación de datos (Base de datos).

Ayala Bautista José Ramón, Coronado Ortega Marcos Alberto, García González Conrado, León Valdez José Angel, Montero Alpírez Gisela, Pérez Pelayo Laura Janet, Sagaste Bernal Carlos Alfonso, Vázquez Espinosa Ana María. Cotton stalks for power generation. Número de registro 03-2015-100110270000-01. Fecha de registro: 7 octubre 2015. Rama: Compilación de datos (Base de datos).

Ayala Bautista José Ramón, Coronado Ortega Marcos A., Flores Zamora Marco Antonio, García González Conrado, León Valdez José Angel, Montero Alpírez Gisela, Pérez Pelayo Laura Janet, Sagaste Bernal Carlos Alfonso, Vázquez Espinosa Ana María. Power generaton from wheat straw in Mexico. Número de registro 03-2015-100110292200-01. Fecha de registro: 7 octubre 2015. Rama: Compilación de datos (Base de datos).

Ayala Bautista José Ramón, Coronado Ortega Marcos A., García González Conrado, León Valdez José Ángel, Montero Alpírez Gisela, Pérez Pelayo Laura Janet, Sagaste Bernal Carlos Alfonso. Título de la obra: “Aspectos involucrados en la elaboración de una planeación energética”. Número de registro 03-2015-102112522000-01. Fecha de registro: 23 octubre 2015. Rama: Compilación de datos (Base de datos).

Trabajos en congresos

José Angel León Valdez, Gisela Montero Alpírez, Marcos Alberto Coronado Ortega, Conrado García González, José Ramón Ayala Bautista, Carlos Alfonso Sagaste Bernal y Ricardo Torres Ramos. Aprovechamiento de energía solar para la producción de biodiesel en condiciones supercríticas. XXXVII Encuentro Nacional del AMIDIQ, Puerto Vallarta México del 3 al 6 de mayo del 2016. ISBN Pendiente

José Angel León Valdez, Jesús Cerezo Román, José Ramón Ayala Bautista, Carlos Alfonso Sagaste Bernal. Simulación de un proceso de producción de biodiesel en condiciones supercríticas. Memorias del XXXVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ 2015, Cancún Quintana Roo, México. ISBN: 978-607-95593-3-5. p. 3440-3444.

José Angel León Valdez, Jesús Cerezo Román, José Ramón Ayala Bautista, Conrado García González. Simulación de un sistema de almacenamiento de energía termosolar para un proceso de producción de biodiesel utilizando TRNSYS. Memorias del XXXV Encuentro Nacional de la AMIDIQ 2014, Puerto Vallarta, Jalisco, México. ISBN: 978-607-95593-2-8. p. 3566-3570.

José Ramón Ayala Bautista, Gisela Montero Alpírez, Héctor Enrique Campbell Ramírez, Carlos Alfonso Sagaste Bernal, José Angel León Valdez, Marcos Alberto Coronado Ortega, Conrado García González y Ricardo Torres Ramos. Aprovechamiento de los residuos de cáscara de naranja para la obtención de azúcares. XXXVII Encuentro Nacional del AMIDIQ, Puerto Vallarta México del 3 al 6 de mayo del 2016. ISBN Pendiente

Carlos Alfonso Sagaste Bernal, Velizar Gochev, Marcos Alberto Coronado Ortega, Conrado García González, José Angel León Valdez, José Ramón Ayala Bautista y Ricardo Torres Ramos. Actividad antimicrobiana de extractos de plantas nativas del valle de Mexicali, México. XXXVII Encuentro Nacional del AMIDIQ, Puerto Vallarta México del 3 al 6 de mayo del 2016. ISBN Pendiente.

C. García, G. Montero, M. Coronado, R. Torres, A. M. Vázquez, J. R. Ayala, J. A. León, C. A. Sagaste. Power generation estimation from wheat straw in Mexico. Wessex Institute of Technology. 6th International Conference on Energy & Sustainability 2015 Medellin, Colombia.

M. Coronado, G. Montero, C. García, R. Torres, A. Vázquez, R. Ayala, J. León, L. Pérez, E. Romero. Cotton stalks for power generation in Baja California, Mexico by SWOT analysis methodology. Wessex Institute of Technology. 6th International Conference on Energy & Sustainability 2015 Medellin, Colombia.

José R. Ayala, Gisela Montero, Héctor E. Campbell, Carlos A Sagaste, José A. Valdez, Marcos A. Coronado, Conrado García, Ana Vázquez. Modelado de las extracciones de aceites esenciales, con limoneno y 1,8-cineol como productos refinados. Memorias del XXXVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ 2015, Cancún Quintana Roo, México. ISBN: 978-607-95593-3-5. p. 3466-3471.

Carlos Alfonso Sagaste Bernal, Gisela Montero Alpírez, Velizar Gochev, José Ramón Ayala Bautista, José Angel León Valdez, Conrado García González, Ana María Vázquez Espinoza. Evaluación de la actividad inhibitoria del aceite esencial de naranja.

Memorias del XXXVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ 2015, Cancún Quintana Roo, México. ISBN: 978-607-95593-3-5. p. 1345-1349.

José Ramón Ayala Bautista, Gisela Montero Alpírez, Héctor Enrique Campbell Ramírez, José Angel León Valdez, Laura Janet Pérez Pelayo, Carlos Alfonso Sagaste Bernal. Comparación de diferentes arreglos para la etapa de purificación en un proceso de producción de bioetanol. Memorias del XXXV Encuentro Nacional de la AMIDIQ 2014, Puerto Vallarta, Jalisco, México. ISBN: 978-607-95593-2-8. p. 3576-3580.

Research Article

Solar Energy for a Solvent Recovery Stage in a Biodiesel Production Process

José A. León,¹ Gisela Montero,¹ Marcos Coronado,¹ José R. Ayala,¹ Conrado García,¹ Aníbal Luna,² and Ana M. Vázquez³

¹Engineering Institute, Universidad Autónoma de Baja California, Boulevard B. Juárez y Calle de la Normal S/N, 21280 Mexicali, BCN, Mexico

²Faculty of Architecture and Design, Universidad Autónoma de Baja California, Boulevard B. Juárez y Calle de la Normal S/N, 21280 Mexicali, BCN, Mexico

³School of Engineering and Business Guadalupe Victoria, Universidad Autónoma de Baja California, Carretera Estatal No. 3 Col. Gutiérrez, 21720 Mexicali, BCN, Mexico

Correspondence should be addressed to Gisela Montero; gmontero@uabc.edu.mx

Received 29 March 2016; Accepted 15 June 2016

Academic Editor: Juan M. Coronado

Copyright © 2016 José A. León et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Recent research and development of clean energy have become essential due to the global climate change problem, which is caused largely by fossil fuels burning. Therefore, biodiesel, a renewable and ecofriendly biofuel with less environmental impact than diesel, continues expanding worldwide. The process for biodiesel production involves a significant energy demand, specifically in the methanol recovery stage through a flash separator and a distillation column. Traditionally, the energy required for this process is supplied by fossil fuels. It represents an opportunity for the application of renewable energy. Hence, the current study presents a system of thermal energy storage modeled in TRNSYS[®] and supported by simulations performed in ASPEN PLUS[®]. The aim of this research was to supply solar energy for a methanol recovery stage in a biodiesel production process. The results highlighted that it is feasible to meet 91% of the energy demand with an array of 9 parabolic trough collectors. The array obtained from the simulation was 3 in series and 3 in parallel, with a total area of 118.8 m². It represents an energy saving of 70 MWh per year.

1. Introduction

The excessive use of fossil fuels for energy supply in the daily life of humanity has had significant environmental consequences. It coupled with an increasing shortage has caused the world to experience a transition from fossil fuels to some renewable energy source [1, 2]. Solar energy has great potential as renewable energy due to its abundance, and its use has been growing more every year, from heating water for households to power generation [3–5].

Solar energy in industry swaps the massive consumption of commercially available electricity. Some industrial processes such as drying, sterilization, cooking, cleaning or degreasing, and pasteurization require heat energy. All the processes temperature required is less than 260°C [6]. Other applications as cleaning, evaporation, distillation, and cooking, among others, as well as applications with

low-temperature heat demand and high consumption rates (domestic hot water, space heating, and swimming pool heating), and heat-driven refrigeration and cooling require temperatures between 85 and 250°C. Recently, one of the aims of solar-thermal engineering is to enhance parabolic trough concentrators for industrial processes. Some research reported in the literature is addressed to the development of new devices, new applications, control methodologies, thermodynamic and technical-economic analysis, and the development of components, support structures, reflective materials, materials for the receiver, and absorber surfaces [7]. One kind of parabolic trough concentrator (PTC) is destined to provide heat to processes that need temperatures between 100 and 250°C. The typical aperture widths are between 1 and 3 m; total lengths vary between 2 and 10 m by row, and geometrical concentrating ratios are between 15 and 20. The PTC of this group are called “medium temperature collectors”



ISSN Print: 0972-060X
ISSN Online: 0976-5026

Extraction and Characterization of Orange Peel Essential Oil from Mexico and United States of America

José R. Ayala, Gisela Montero*, Héctor E. Campbell, Conrado García,
Marcos A. Coronado, José A. León, Carlos A. Sagaste and Laura J. Pérez
Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería, Baja California, México

Received 22 December 2016; accepted in revised form 29 June 2017

Abstract: The food industry is growing significantly every year. Annually, large quantities of fruits and vegetables are grown to meet the population demand. Among them, the orange (*Citrus sinensis*) production was 70.45 Mt in 2013. After consumption, the remaining orange peel is considered as a waste. From an economic and environmental perspective, the extraction of orange essential oil is a high value-added option for the valorization and use of the orange peel. Therefore, the objective of this study was to determine the experimental conditions where the maximum yield of essential oil of orange peel is obtained by applying a factorial design. The most relevant extraction process factors studied were the grinding time and the operating time. The characterization of the essential oil included FT-IR, GC-FID, high heating value determination and TG analysis. For the processed orange peel, the high heating value was measured, and the SEM-EDS analyses were performed. The maximum experimental yield was achieved with 500 cm³ of solvent, 50 min of extraction time and 2 min of grinding time. The results obtained at these conditions were: a yield of essential oil of 5.23 % v/w, with a concentration of 74.43 % of limonene, 4.27 % of p-myrcene, 3.26 % of sabinene, 1.54 % of β -pinene, and 1.54 % of linalool. The high heating value of essential oil was 44.25 MJ/kg, and for orange peel was 15.82 MJ/kg. The orange peel elemental composition analysis showed 24.1 % oxygen and 73.51 % carbon.

Key words: *Citrus sinensis*, orange essential oil, factorial design, heating value, SEM analysis.

Introduction

Worldwide orange production

The orange (*Citrus sinensis*) is a very common and highly consumed crop. It is part of the citrus family, and it is one of the highest worldwide crops produced. According to the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), in 2012, world production of orange, lemon and grapefruit was 95.09 Mt¹. The production of concentrate for the juice industry is one of the primary applications. The orange peel is a part of the residual generated by the processing of citrus. The number of residuals is estimated at 15.56 Mt per year².

More than 50 % of the world orange produc-

tion is generated in the American continent, where Mexico makes a significant contribution¹. The Mexican orange production was 4.41 Mt in 2013, which represents 6.17 % of the worldwide orange production^{1,3}. Figure 1 displays the worldwide citrus production and the Mexican one.

Mexico accounts for 5.03 % of the world grapefruit production and 14.03 % of the lime-lemon global production^{1,3}. In Mexico, the citrus waste generation is distributed by 740,000 t of orange, 70,000 t of grapefruit, and 360,000 t of lemon and lime. These residues can be used for livestock feed and generation of value-added products^{4,5}, such as essential oils.

*Corresponding author (Gisela Montero)
E-mail: <gmontero@uabc.edu.mx>

Cotton stalks for power generation in Baja California, Mexico by SWOT analysis methodology

M. Coronado¹, G. Montero¹, C. García¹, R. Torres¹, A. Vázquez²,
R. Ayala¹, J. León¹, L. Pérez¹ & E. Romero¹

¹*Institute of Engineering, Autonomous University of Baja California,
Mexico*

²*School of Engineering and Business, Guadalupe Victoria,
Autonomous University of Baja California, Mexico*

Abstract

Baja California is a state located in the northwestern region of Mexico. From 2003 to 2013 the average cultivated area reported was 228,094 ha; 9.5% of that area was used for the cotton crop *Gossypium Hirsutum* variety. Cotton harvesting generates considerable amounts of cotton stalks as biomass residuals. Cotton stalks have a high energy potential currently unexploited productively, and whose disposition is open burning. This activity is performed because it reduces the costs of land preparation for the next agricultural cycle and also prevents the spread of pests and diseases in future crops. The use of agricultural biomass waste has acquired more international relevance as a source of renewable energy. The replacement of fossil fuels and mitigation of greenhouse gas emissions responsible for climate change are among the most important environmental benefits of bioenergy. Therefore, the aim of this work was to analyze the factors that would affect the development of a transformation industry of biomass into energy by SWOT methodology. The energy potential for heat and power generation from cotton stalks was estimated. The results highlighted that from cotton stalks it is feasible to obtain an average of 1.40 PJ annually, equivalent to 39,082.67 m³ of diesel, and thus supply a power plant with 14.78 MW of installed capacity. This energy would contribute to the



Power generation estimation from wheat straw in Mexico

C. García¹, G. Montero¹, M. Coronado¹, R. Torres¹,
A. M. Vázquez², J. R. Ayala¹, J. A. León¹ & C. A. Sagaste¹

¹*Institute of Engineering, Autonomous University of Baja California, Mexico*

²*School of Engineering and Business, Guadalupe Victoria, Autonomous University of Baja California, Mexico*

Abstract

By 2013, the wheat grain harvested area in Mexico was 683,044.42 ha, which represents 3.06% of the national area for agricultural purposes. At the end of each agricultural cycle, wheat straw is generated as biomass waste. Mexican farmers burn the wheat straw in the same place where it is generated, in order to clean and prepare the land for the next harvest. Hence, the aim of this work was to determine the amount of wheat straw generated at a national level, identify the states with high biomass potential, and estimate the energy potential. It was estimated that 4,612,950.23 t of wheat straw are generated in Mexico. Sonora and Baja California generated 61.69% of the wheat straw. The results highlighted 69.19 PJ per agricultural cycle, equivalent to 18.24% of the biomass energy share reported in Mexico's National Energy Balance, by 2013. The option to use this energy for electricity generation in a biomass power plant was assessed. It could potentially supply a national biopower industry with a total installed capacity of 728.05 MW. The waste biomass has been one of the best options to replace fossil fuel resources and is a sustainable activity that does not deplete future resources.

Keywords: wheat straw, biomass, power generation, biofuel feedstock.

1 Introduction

Wheat is one of the foods most in demand with global consumption per capita; 56.8 kg/year in 2012/13 [1]. According to FAO [2], wheat crops worldwide were



An Overview of Biodiesel Production in Mexico

Gisela Montero, Margarita Stoytcheva,
Marcos Coronado, Conrado García, Jesús Cerezo,
Lydia Toscano, Ana M. Vázquez and José A. León

Additional information is available at the end of the chapter

<http://dx.doi.org/10.5772/59400>

1. Introduction

In Mexico, the primary energy is constituted of 88.5% oil and natural gas, 3.6% coal, 1% nuclear and 6.9% renewable energy as is illustrated in Figure 1. Renewable energy is comprised by 1.7% geothermal, solar, wind; 1.3% hydroenergy and 3.9% biomass [1].

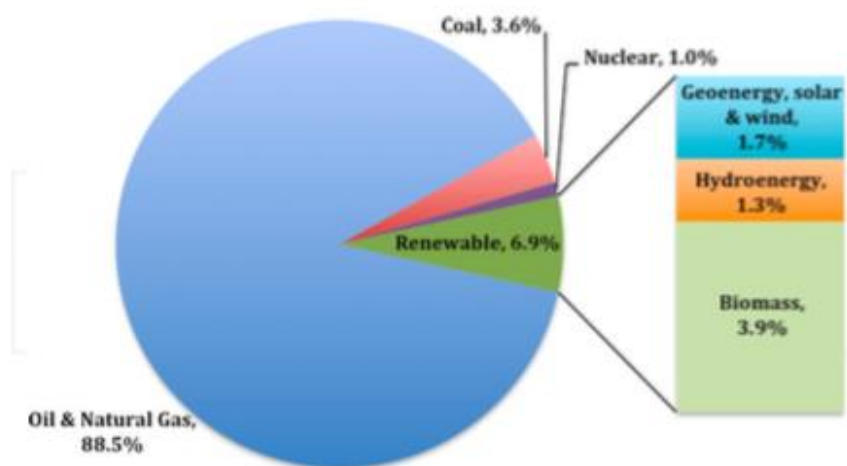


Figure 1. Primary energy of Mexico.

Simulación de un sistema de almacenamiento de energía termosolar para un proceso de producción de biodiesel

CERTIFICADO		
Registro Público del Derecho de Autor		
Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la OBRA cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:		
AUTORES:	AYALA BAUTISTA JOSE RAMON CORONADO ORTEGA MARCOS A. GARCIA GONZALEZ CONRADO LEON VALDEZ JOSE ANGEL MONTERO ALPIREZ GISELA PEREZ PELAYO LAURA JANET SAGASTE BERNAL CARLOS ALFONSO	
TITULO:	SIMULACION DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA TERMOSOLAR PARA UN PROCESO DE PRODUCCION DE BIODIESEL	
RAMA:	COMPILACION DE DATOS (BASE DE DATOS)	
TITULARES:	AYALA BAUTISTA JOSE RAMON CORONADO ORTEGA MARCOS A. GARCIA GONZALEZ CONRADO LEON VALDEZ JOSE ANGEL MONTERO ALPIREZ GISELA PEREZ PELAYO LAURA JANET SAGASTE BERNAL CARLOS ALFONSO	
Con fundamento en lo establecido por el artículo 107 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor, las bases de datos o de otros materiales legibles por medio de máquinas o en otra forma, que por razones de selección y disposición de su contenido constituyan creaciones intelectuales, quedarán protegidas como compilaciones. Dicha protección no se extenderá a los datos y materiales en sí mismos.		
Con fundamento en el artículo 13 último párrafo de la Ley Federal del Derecho de Autor, las obras que por analogía puedan considerarse obras literarias o artísticas se incluirán en la rama que les sea más afín a su naturaleza.		
Con fundamento en el artículo 237 de la Ley Federal del Derecho de Autor, los afectados por los actos y resoluciones emitidos por el Instituto que pongan fin a un procedimiento administrativo, a una instancia o resuelvan un expediente, podrán interponer recurso de revisión en los términos de la Ley Federal del Procedimiento Administrativo.		
Con fundamento en el artículo 9 fracción I del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, corresponde al Director del Registro del Derecho de Autor expedir los certificados de registro de las obras que establece la Ley y su Reglamento, así como determinar la rama en que deberán registrarse las obras que por su analogía puedan considerarse literarias o artísticas.		
Con fundamento en lo establecido por el artículo 14 fracciones I, II y III de la Ley Federal del Derecho de Autor, el presente certificado no ampara: las ideas en sí mismas, las fórmulas, soluciones, conceptos, métodos, sistemas, principios, descubrimientos, procesos e invenciones de cualquier tipo; el aprovechamiento industrial o comercial de las ideas contenidas en las obras; los esquemas, planes o reglas para realizar actos mentales, juegos o negocios.		
03-2015-101510175400-01	Página 1 de 2	
		

Cálculo energético en la extracción de aceite esencial de eucalipto

CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTORES:

AYALA BAUTISTA JOSE RAMON
CORONADO ORTEGA MARCOS A.
GARCIA GONZALEZ CONRADO
LEON VALDEZ JOSE ANGEL
MONTERO ALPIREZ GISELA
PEREZ PELAYO LAURA JANET
SAGASTE BERNAL CARLOS ALFONSO

TITULO:

CALCULO ENERGETICO EN LA EXTRACCION DE ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO

RAMA:

COMPILACION DE DATOS (BASE DE DATOS)

TITULARES:

AYALA BAUTISTA JOSE RAMON
CORONADO ORTEGA MARCOS A.
GARCIA GONZALEZ CONRADO
LEON VALDEZ JOSE ANGEL
MONTERO ALPIREZ GISELA
PEREZ PELAYO LAURA JANET
SAGASTE BERNAL CARLOS ALFONSO

Con fundamento en lo establecido por el artículo 14 fracciones I, II y III de la Ley Federal del Derecho de Autor, el presente certificado no ampara: las ideas en sí mismas, las fórmulas, soluciones, conceptos, métodos, sistemas, principios, descubrimientos, procesos e invenciones de cualquier tipo; el aprovechamiento industrial o comercial de las ideas contenidas en las obras; los esquemas, planes o reglas para realizar actos mentales, juegos o negocios.

Con fundamento en el artículo 13 último párrafo de la Ley Federal del Derecho de Autor, las obras que por analogía puedan considerarse obras literarias o artísticas se incluirán en la rama que les sea más afín a su naturaleza.

Con fundamento en el artículo 237 de la Ley Federal del Derecho de Autor, los afectados por los actos y resoluciones emitidos por el Instituto que pongan fin a un procedimiento administrativo, a una instancia o resuelvan un expediente, podrán interponer recurso de revisión en los términos de la Ley Federal del Procedimiento Administrativo.

Con fundamento en el artículo 9 fracción I del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, corresponde al Director del Registro del Derecho de Autor expedir los certificados de registro de las obras que establece la Ley y su Reglamento, así como determinar la rama en que deberán registrarse las obras que por su analogía puedan considerarse literarias o artísticas.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 107 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor, las bases de datos o de otros materiales legibles por medio de máquinas o en otra forma, que por razones de selección y disposición de su contenido constituyan creaciones intelectuales, quedarán protegidas como compilaciones. Dicha protección no se extenderá a los datos y materiales en sí mismos.

03-2015-101510163600-01

Página 1 de 2

Cotton stalks for power generation

CERTIFICADO	
Registro Público del Derecho de Autor	
Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la OBRA cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:	
AUTORES:	AYALA BAUTISTA JOSE RAMON CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO GARCIA GONZALEZ CONRADO LEON VALDEZ JOSE ANGEL MONTERO ALPIREZ GISELA PEREZ PELAYO LAURA JANET SAGASTE BERNAL CARLOS ALFONSO VAZQUEZ ESPINOZA ANA MARIA
TITULO:	COTTON STALKS FOR POWER GENERATION
RAMA:	COMPILACION DE DATOS (BASE DE DATOS)
TITULARES:	AYALA BAUTISTA JOSE RAMON CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO GARCIA GONZALEZ CONRADO LEON VALDEZ JOSE ANGEL MONTERO ALPIREZ GISELA PEREZ PELAYO LAURA JANET SAGASTE BERNAL CARLOS ALFONSO VAZQUEZ ESPINOZA ANA MARIA
Con fundamento en lo establecido por el artículo 107 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor, las bases de datos o de otros materiales legibles por medio de máquinas o en otra forma, que por razones de selección y disposición de su contenido constituyan creaciones intelectuales, quedarán protegidas como compilaciones. Dicha protección no se extenderá a los datos y materiales en sí mismos.	
Con fundamento en lo establecido por el artículo 14 fracciones I, II y III de la Ley Federal del Derecho de Autor, el presente certificado no ampara las ideas en sí mismas, las fórmulas, soluciones, conceptos, métodos, sistemas, principios, descubrimientos, procesos o invenciones de cualquier tipo; el aprovechamiento industrial o comercial de las ideas contenidas en las obras; los esquemas, planes o reglas para realizar actos mentales, juegos o negocios.	
Con fundamento en el artículo 13 último párrafo de la Ley Federal del Derecho de Autor, las obras que por analogía puedan considerarse obras literarias o artísticas se incluirán en la rama que les sea más afín a su naturaleza.	
Con fundamento en el artículo 237 de la Ley Federal del Derecho de Autor, los afectados por los actos y resoluciones emitidos por el Instituto que pongan fin a un procedimiento administrativo, a una instancia o resuelvan un expediente, podrán interponer recurso de revisión en los términos de la Ley Federal del Procedimiento Administrativo.	
Con fundamento en el artículo 9 fracción I del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, corresponde al Director del Registro del Derecho de Autor expedir los certificados de registro de las obras que establece la Ley y su Reglamento, así como determinar la rama en que deberán registrarse las obras que por su analogía puedan considerarse literarias o artísticas.	
03-2015-100110270000-01	
Página 1 de 2	
 SEP SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA	 ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
 INDAUTOR Instituto Nacional del Derecho de Autor	

CERTIFICADO	
Registro Público del Derecho de Autor	
Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la OBRA cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:	
AUTORES:	AYALA BAUTISTA JOSE RAMON CORONADO ORTEGA MARCOS A. FLORES ZAMORA MARCO ANTONIO GARCIA GONZALEZ CONRADO LEON VALDEZ JOSE ANGEL MONTERO ALPIREZ GISELA PEREZ PELAYO LAURA JANET SAGASTE BERNAL CARLOS ALFONSO VAZQUEZ ESPINOZA ANA MARIA
TITULO:	POWER GENERATION ESTIMATION FROM WHEAT STRAW IN MEXICO
RAMA:	COMPILACION DE DATOS (BASE DE DATOS)
TITULARES:	AYALA BAUTISTA JOSE RAMON CORONADO ORTEGA MARCOS A. FLORES ZAMORA MARCO ANTONIO GARCIA GONZALEZ CONRADO LEON VALDEZ JOSE ANGEL MONTERO ALPIREZ GISELA PEREZ PELAYO LAURA JANET SAGASTE BERNAL CARLOS ALFONSO VAZQUEZ ESPINOZA ANA MARIA
Con fundamento en lo establecido por el artículo 14 fracciones I, II y III de la Ley Federal del Derecho de Autor, el presente certificado no ampara: las ideas en sí mismas, las fórmulas, soluciones, conceptos, métodos, sistemas, principios, descubrimientos, procesos e invenciones de cualquier tipo; el aprovechamiento industrial o comercial de las ideas contenidas en las obras; los esquemas, planes o reglas para realizar actos mentales, juegos o negocios.	
Con fundamento en el artículo 13 último párrafo de la Ley Federal del Derecho de Autor, las obras que por analogía puedan considerarse obras literarias o artísticas se incluirán en la rama que les sea más afín a su naturaleza.	
Con fundamento en el artículo 237 de la Ley Federal del Derecho de Autor, los afectados por los actos y resoluciones emitidos por el Instituto que pongan fin a un procedimiento administrativo, a una instancia o resuelvan un expediente, podrán interponer recurso de revisión en los términos de la Ley Federal del Procedimiento Administrativo.	
Con fundamento en el artículo 9 fracción I del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, corresponde al Director del Registro del Derecho de Autor expedir los certificados de registro de las obras que establece la Ley y su Reglamento, así como determinar la rama en que deberán registrarse las obras que por su analogía puedan considerarse literarias o artísticas.	
Con fundamento en lo establecido por el artículo 107 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor, las bases de datos o de otros materiales legibles por medio de máquinas o en otra forma, que por razones de selección y disposición de su contenido constituyan creaciones intelectuales, quedarán protegidas como compilaciones. Dicha protección no se extenderá a los datos y materiales en sí mismos.	
03-2015-100110292200-01	Página 1 de 2
 SEP SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA	 ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
	 INDAUTOR Instituto Nacional del Derecho de Autor

Aspectos involucrados en la elaboración de una planeación energética

CERTIFICADO	
Registro Público del Derecho de Autor	
Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la OBRA cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:	
AUTORES:	AYALA BAUTISTA JOSE RAMON CORONADO ORTEGA MARCOS A. GARCIA GONZALEZ CONRADO LEON VALDEZ JOSE ANGEL MONTERO ALPIREZ GISELA PEREZ PELAYO LAURA JANET SAGASTE BERNAL CARLOS ALFONSO
TITULO:	ASPECTOS INVOLUCRADOS EN LA ELABORACION DE UNA PLANEACION ENERGETICA
RAMA:	COMPILACION DE DATOS (BASE DE DATOS)
TITULARES:	AYALA BAUTISTA JOSE RAMON CORONADO ORTEGA MARCOS A. GARCIA GONZALEZ CONRADO LEON VALDEZ JOSE ANGEL MONTERO ALPIREZ GISELA PEREZ PELAYO LAURA JANET SAGASTE BERNAL CARLOS ALFONSO
Con fundamento en lo establecido por el artículo 14 fracción I de la Ley Federal del Derecho de Autor, el presente certificado no ampara las ideas en sí mismas, las fórmulas, soluciones, conceptos, métodos, sistemas, principios, descubrimientos, procesos e invenciones de cualquier tipo.	
Con fundamento en lo establecido por el artículo 107 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las bases de datos o de otros materiales legibles por medio de máquinas o en otra forma, que por razones de selección y disposición de su contenido constituyan creaciones intelectuales, quedarán protegidas como compilaciones. Dicha protección no se extenderá a los datos y materiales en sí mismos.	
Con fundamento en el artículo 13 último párrafo de la Ley Federal del Derecho de Autor, las obras que por analogía puedan considerarse obras literarias o artísticas se incluirán en la rama que les sea más afín a su naturaleza.	
Con fundamento en el artículo 237 de la Ley Federal del Derecho de Autor, los afectados por los actos y resoluciones emitidos por el Instituto que pongan fin a un procedimiento administrativo, a una instancia o resuelvan un expediente, podrán interponer recurso de revisión en los términos de la Ley Federal del Procedimiento Administrativo.	
Con fundamento en el artículo 9 fracción I del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, corresponde al Director del Registro del Derecho de Autor expedir los certificados de registro de las obras que establece la Ley y su Reglamento, así como determinar la rama en que deberán registrarse las obras que por su analogía puedan considerarse literarias o artísticas.	

03-2015-102112522000-01

Página 1 de 2



Power generation from wheat straw in Mexico



WESSEX INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Ashurst Lodge, Ashurst, Southampton, SO40 7AA, UK

Tel: 44 (0) 238 029 5225 Fax: 44 (0) 238 029 2853 Email: wit@wessex.ac.uk Web: www.wessex.ac.uk

Director: Professor C.A. Brebbia

6th International Conference on **ENERGY & SUSTAINABILITY 2015**

2 – 4 September 2015

I confirm that Dr. Conrado García Gonzalez
has attended and presented "Power generation estimation from wheat straw in Mexico" by
C. García, G. Montero, M. Coronado, R. Torres, A. M. Vázquez, J. R. Ayala, J. A. León, C. A.
Sagaste in the above conference,
in Medellin, Colombia

Rachel Van Loock
Conference Coordinator
September 2015



Cotton stalks for power generation in Baja California Mexico by SWOT analysis methodology



WESSEX INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Ashurst Lodge, Ashurst, Southampton, SO40 7AA, UK

Tel: 44 (0) 238 029 3223 Fax: 44 (0) 238 029 2853 Email: wit@wessex.ac.uk Web: www.wessex.ac.uk

Director: Professor C.A. Brebbia

6th International Conference on
ENERGY & SUSTAINABILITY 2015

2 – 4 September 2015

I confirm that Dr. Marcos A. Coronado Ortega
has attended and presented "Cotton stalks for power generation in Baja California, Mexico
by SWOT analysis methodology" by M. Coronado, G. Montero, C. García, R. Torres, A.
Vázquez, R. Ayala, J. León, L. Pérez, E. Romero in the above conference,
in Medellin, Colombia

Rachel Van Loock
Conference Coordinator
September 2015



SIMULACIÓN DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS

José Angel León Valdez^{a,b}, Jesús Cerezo Román^a, José Ramón Ayala Bautista^{a,b}, Carlos Alfonso Sagaste Bernal^a.

^aInstituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez y Calle de la Normal S/N, Col. Insurgentes Este, Mexicali, Baja California, 21280, MEXICO.

^bFacultad de Ingeniería, campus Mexicali, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez y Calle de la Normal S/N, Col. Insurgentes Este, Mexicali, Baja California, 21280, MEXICO. jleon10@uabc.edu.mx

Resumen

El biodiésel es uno de los combustibles renovables de mayor interés en años recientes, debido a que puede producirse a partir de aceites vegetales y grasas animales. Sin embargo, los altos costos en la producción, principalmente por los precios en las materias primas, han dificultado su expansión en países como México. Los aceites vegetales residuales (AVR) se han convertido en una de las materias primas más viables para la producción de biodiesel, aún cuando el alto nivel de ácidos grasos libres (AGL) en estos, son un obstáculo para las vías de producción convencionales. La aplicación de procesos en condiciones supercríticas ofrece una gran ventaja, al poder utilizar AVR sin la necesidad de catalizadores. Por lo que en el presente trabajo se estudió el impacto del nivel de AGL sobre el consumo de energía y de metanol, para un proceso de producción de biodiesel en condiciones supercríticas a partir de aceite de canola residual. Los resultados mostraron que si bien el consumo de energía aumenta con el nivel de AGL en el aceite, el aumento en la energía total requerida por el proceso solo se incrementa un 6.8% cuando el porcentaje en peso de AGL aumenta del 1% al 80%. Los costos de producción de biodiesel para los procesos en condiciones supercríticas puede ser beneficiados con el uso de AVR, para lo cual se requiere del avance en la investigación y análisis de este tipo de procesos.

Introducción

La creciente demanda de energía de la humanidad, principalmente producida por combustibles fósiles, ha generado grandes consecuencias ambientales en el mundo. En varios países se han implementado programas de mezclado de biocombustibles para reducir la dependencia de combustibles fósiles y obtener beneficios ambientales, incluyendo la mitigación del cambio climático. Uno de los combustibles renovables más prometedores como alternativa al diesel es el biodiesel, al ser una mezcla de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales. El potencial competitivo del biodiesel está limitado por el precio de los aceites vegetales, que influye fuertemente en el precio final del biocombustible. Al utilizar AVR para la elaboración del biodiesel se puede reducir el costo de producción de un 60% a un 90% [1].

Los AVR son considerados como la fuente más prometedora para la producción de biodiésel a pesar de algunas desventajas, como su alto contenido de ácidos grasos libres (AGL), lo cual requiere pretratamiento para la producción de biodiesel por la vía alcalina. Recientemente han aumentado las investigaciones en métodos no catalíticos para la producción de biodiesel, principalmente los procesos en condiciones supercríticas, donde la ausencia de catalizador simplifica los procesos de purificación del biodiesel [2]. El alto consumo de alcohol y energía, para mantener las condiciones adecuadas de presión y temperatura, han convertido al proceso en condiciones supercríticas en un método poco viable. Sin embargo, las etapas de purificación del biodiesel y recuperación de metanol son mas simples,

EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD INHIBITORIA DEL ACEITE ESENCIAL DE NARANJA CONTRA *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Candida albicans*

Carios Alfonso Sagaste Bernal^a, Gisele Montero Alpiroz^a, Velizar Gochev^b, José Ramón Ayala Bautista^a, José Ángel León Valdez^a, Conrado García González^a, Ana María Vázquez Espinoza^d

^a Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Blv. Benito Juárez y Calle de la Normal s/n, Mexicali, Baja California, CP 21280, MÉXICO. Carlos.sagaste@uabc.edu.mx

^b Department of Biochemistry and Microbiology, University of Plovdiv "Paisii Hilendarski", Tsar Asen Street 24, Plovdiv, Plovdiv, CP 4000, BULGARIA

^c Academia de Ingeniería química y Bioquímica, Instituto Tecnológico de Mexicali, Av. Tecnológico S/N, Colonia Elias Calles, Mexicali, Baja California, CP. 21396, MÉXICO

^d Escuela de Ingeniería y negocios, Universidad Autónoma de Baja California, Carretera estatal 3, Colonia Gutiérrez, Guadalupe Victoria, Baja California, CP. 21720, MÉXICO

Resumen

Se presentan los resultados de pruebas de inhibición del crecimiento microbiológico, a las que fueron sometidos dos aceites esenciales de naranja valencia (*Citrus sinensis*) cultivados en Caborca, Sonora, México, y en Redlands, California, EE.UU. Ambos aceites fueron extraídos por el método de hidrodestilación a las mismas condiciones de operación. El aceite de naranja mexicana presentó un rendimiento en la extracción casi dos veces mayor en volumen con respecto al aceite de naranja estadounidense. La actividad inhibitoria fue evaluada contra tres cepas, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Candida albicans*. Para estas pruebas fue empleado el método de difusión de disco. Mientras que el aceite de naranja mexicana presentó actividad apreciable contra las tres cepas, el aceite estadounidense no fue capaz de inhibir el crecimiento de la cepa *E. coli*. Ambos aceites presentaron un diámetro de inhibición similar contra *S. aureus*, sin embargo contra la *C. albicans* la zona de inhibición fue casi 50% mayor usando el aceite mexicano.

Palabras clave: aceite esencial, limoneno, difusión de disco, hidrodestilación.

Introducción

Los aceites esenciales son mezclas de compuestos de composición variada, extraído principalmente de vegetales. Aunque son llamados aceites, este nombre responde más a su naturaleza física (oleosos, más ligeros que el agua, inflamables, etc.) que a ser propiamente ácidos grasos.

La mayoría de los compuestos que constituyen los aceites esenciales son llamados terpenos, que pertenecen a la familia química de los alquenos. Los terpenos se caracterizan por tener un esqueleto hidrocarburo constituido por "bloques" de cinco átomos de carbono. Esta unidad hidrocarbonada es el isopreno. Sin embargo cuando al esqueleto hidrocarburo se le agrega un grupo funcional, que puede ser alcohólico, cetónico u otro, recibe el nombre de terpenoide.

De igual manera, los aceites esenciales son referidos desde el punto de vista biológico como metabolitos secundarios debido a que no son necesarios en ningún proceso vital. Esta consideración dista mucho de mostrar la carencia de importancia de los aceites esenciales en la vida del vegetal productor. El organismo del vegetal los emplea con diversos fines, desde la atracción de polinizadores, repelencia de depredadores, señal química, combate a infecciones, etc., por lo que es preciso decir que los aceites son producidos por una exigencia del medio, dando como resultado que la composición nunca sea uniforme aun entre individuos de la misma especie; incluso es posible encontrar diferencias en función de cuál

MODELADO PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES, CON LIMONENO Y 1,8-CINEOL COMO PRODUCTOS REFINADOS

José R. Ayala^{a,b}, Gisela Montero^a, Héctor E. Campbell^a, Carlos A. Sagaste^a, José A. León^{a,b}, Marcos A. Coronado^a, Conrado García^{b,c}, Ana Vázquez^d

^a Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Blv. Benito Juárez y calle de la Normal s/n Colonia Insurgente Este, Mexicali, Baja California, CP. 21280, MÉXICO

^b Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez y calle de la Normal s/n Colonia Insurgente Este, Mexicali, Baja California, CP. 21280, MÉXICO

^c Instituto Tecnológico de Mexicali, Academia de Química y Bioquímica, Av. Tecnológico S/N, Col. Elías Calles, Mexicali, Baja California, CP. 21396, MÉXICO

^d Escuela de Ingeniería y Negocios, Universidad Autónoma de Baja California, Guadalupe Victoria, Carretera Estatal No. 3 Col. Gutiérrez, Mexicali, Baja California, CP. 21720, MÉXICO

Resumen

En los últimos años el aprovechamiento de los residuos ha sido un tema de gran importancia. Las propuestas para utilizarlos en procesos han sido numerosas, desde aplicaciones energéticas hasta material de composta, o bien procesos donde sean reutilizados como materias primas. México es un productor importante de naranja y aporta poco más del 5% de este cítrico a nivel mundial. Esto conlleva a proponer el aprovechamiento del residuo que este cultivo genera. En la región de estudio, Mexicali, Baja California, se tiene otra especie vegetal, el eucalipto, árbol que en muchas regiones del país es considerado como perjudicial. En esta región se ha adaptado a las condiciones climáticas y requiere de pocos cuidados. Asimismo, el eucalipto genera residuo que no son aprovechados. Es por ello que el objetivo del presente trabajo consistió en modelar un proceso simultáneo para extraer aceites esenciales de los residuos de cáscara de naranja así como de las hojas de eucalipto en la región de estudio. Se simuló un proceso de hidrodestilación y arrastre de vapor, con el fin de obtener limoneno y 1,8-cineol de alta pureza que puedan competir en el mercado de aceites esenciales de México, debido a que se importan. El proceso simula una producción diaria de 35.63 kg de aceite esencial de naranja y 14.11 kg de aceite esencial de eucalipto. Los índices de producción por hora fueron: 266.96 kW/kg para el proceso de AEN y 2,352.83 kW/kg para el proceso de AEE.

Palabras clave: 1,8-cineol, limoneno, simulación.

Introducción

Los aceites esenciales son metabolitos secundarios elaborados por distintas especies vegetales. No representan una función vital para la planta, pero muchos olores característicos de las mismas se presentan gracias a su existencia. Están conformados por grupos como terpenos, alcaloides e inclusive fenoles en algunos casos, estas mezclas de compuestos volátiles han encontrado aplicaciones en distintas facetas de las actividades humanas. Algunas aplicaciones conocidas y explotadas de los aceites esenciales son: capacidad para actuar como repelentes naturales, ingredientes para cosméticos así como desengrasante y saborizantes en alimentos. Otros usos aun en prueba radican en el área de la medicina, pues se han explorado ciertos aceites contra enfermedades como la diabetes e hipertensión.

En el caso específico del aceite esencial de cáscara de naranja, el terpeno de mayor contribución es el limoneno, cuya concentración puede alcanzar hasta 90% en peso. Para el aceite esencial de hoja de eucalipto, el terpeno de interés es el 1,8-cineol, cuya concentración puede oscilar entre 35% - 45% en

COMPARACIÓN DE DIFERENTES ARREGLOS PARA LA ETAPA DE PURIFICACIÓN EN UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL

José Ramón Ayala Bautista^a, Gisela Montero Alptre^a, Hector Enrique Campbell Ramírez^a, José Ángel León Valdez^a, Laura Janet Pérez Pelayo^a, Carlos Alfonso Sagaste Bernal^a.

^aInstituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez y calle de la normal S/N, Colonia insurgentes Este, Mexicali Baja California CP 21280, MÉXICO. ramon.ayala@uabc.edu.mx

Resumen

En los últimos años se ha prestado atención a las materias primas utilizadas en los procesos de producción de biocombustibles. Cada vez, resultan más claras las desventajas de utilizar cultivos destinados a la alimentación para su producción. Lo anterior deja a los residuos como una alternativa a los dilemas presentados. Utilizar residuos de cítricos es una opción que se ha estudiado en los últimos años como materia prima. Un proceso para la producción de bioetanol a partir de cítricos residuales involucra por lo menos 4 etapas: pretratamiento, hidrólisis, fermentación y purificación. Las mejoras en el proceso ocurren en la etapa de fermentación modificando las técnicas para aumentar la producción, y en la etapa de purificación, donde la mejora se logra al aumentar la eficiencia energética. El objetivo del presente trabajo es comparar la relación: recuperación de etanol/unidad de energía utilizada en el proceso. Para ello se presentan 3 arreglos para una etapa de purificación. Se construyeron modelos de equivalencia para simular la biomasa que entra a la purificación en conjunto con el bioetanol producido. La alimentación se obtiene a partir del recurso disponible de residuos de cítricos, presentando un valor de 1562.5 kg/h. Los arreglos requieren una potencia que oscila entre los 318 kW hasta los 2640 kW para obtener corrientes másicas de 33.84 kg/h a 46.789 kg/h. Las composiciones másicas de estas corrientes varían de 6.1% a 91% w/w. Las etapas posteriores en los arreglos se discuten en el trabajo.

Introducción

Gran cantidad de alimentos se cultivan para satisfacer las necesidades humanas, siendo los cítricos uno los cultivos más abundantes en el planeta [1]. México, tan solo en 2011, produjo 6.62 millones de toneladas de cítricos [2], aportando el 5.86% de naranja, 15.5% de limón, 5.13% de toronja de la producción mundial de estos cultivos [2]. Se estima que el 18% de estos cultivos es cáscara, la cual siendo bien aprovechada puede ser utilizada para la producción de bioetanol. El estado de Baja California generó 5717 toneladas de cítricos tan solo en 2011, el cálculo de la alimentación se realiza con base en el recurso disponible para este estado. En los últimos años, la producción de biocombustibles se ha enfocado en las materias primas utilizadas durante la conversión, pasando de cultivos dedicados a alimentos, a los llamados cultivos energéticos y finalmente los residuos. Debido a la abundancia de cítricos en el planeta, el utilizar las cáscaras de los mismos después de ser procesados resulta una propuesta atractiva.

Metodología

Antes de iniciar cualquier proceso, se debe conocer la cantidad de materia prima disponible y el suministro de la misma. Para el presente caso, la región de estudio es Baja California, la materia prima serán los residuos de cítricos consumidos, dichos residuos están conformados por cáscaras de: naranja, limón, toronja y mandarina. Según los datos

Memorias del XXXV Encuentro Nacional de la AMIDIQ
6 al 9 de Mayo de 2014, Puerto Vallarta, Jalisco, México

SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TERMOSOLAR PARA UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL UTILIZANDO TRNSYS

José Angel León Valdez^a, Jesús Cerezo Román^a, José Ramón Ayala Bautista^a, Conrado García González^a
^aInstituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez y Calle de la Normal
S/N, Col. Insurgentes Este, Mexicali, Baja California, 21280, MEXICO. jose.leon30@uabc.edu.mx

Resumen

Un sistema de almacenamiento de energía termosolar es modelado para el suministro de energía en un proceso de producción de biodiesel en Mexicali, Baja California México. Los parámetros del diseño fueron analizados mediante el software de simulación TRNSYS®. El estudio muestra una comparativa entre la tecnología de colectores de tubo evacuado y colectores parabólicos. También son presentados tanto los volúmenes de los tanques de almacenamiento como el tipo de fluido de termico, la temperatura deseada y flujos masicos requeridos para el proceso de biodiesel. Los resultados muestran que es necesario elevar el fluido a una temperatura mayor a los 120°C para mantener un suministro de energía constante a la producción de biodiesel y se requiere almacenar toda la energía requerida en un lapso breve de tiempo, debido a la intermitencia del recurso solar. El análisis mostró que los colectores de tubo evacuado no pueden elevar el fluido a la temperatura deseada sin la ayuda de un medio de calentamiento auxiliar, sin embargo, con colectores parabólicos es posible lograr el calentamiento y almacenamiento del fluido en el periodo indicado y mantener una temperatura constante sin la necesidad de utilizar medios de calentamiento auxiliares. El avance en la investigación de este tipo de aplicaciones para la energía solar llevará a un mejor aprovechamiento y eficiencia de las energías renovables.

Introducción

El uso desmedido de combustibles fósiles para el suministro de energía en la vida diaria de la humanidad ha tenido grandes consecuencias ambientales, aunado a una escasez cada vez más notoria, ha ocasionado que tarde o temprano enfrentaremos una transición de combustibles fósiles hacia alguna clase de fuente de energía renovable [1]. La energía solar presenta un enorme potencial debido a su abundancia y su aprovechamiento ha ido aumentando cada vez más, que va desde el calentamiento de agua para uso doméstico hasta la generación de energía eléctrica [2].

El biodiesel se ha vuelto más atractivo recientemente debido a sus beneficios ambientales y el hecho de que se forma a partir de recursos renovables. Sin embargo, el costo de producción del biodiesel es el principal obstáculo para la comercialización del producto [3]. En el presente trabajo se plantea la aplicación de colectores solares para el suministro de energía a un proceso de producción de biodiesel por medio de un simulador dinámico como es TRNSYS®. Este software ha sido utilizado en la evaluación de tecnologías solares así como sus diferentes parámetros de diseño y condiciones de operación para una locación en específico [4,5].

El proceso de producción de biodiesel a partir de aceite de higuera es descrito en la figura 1. La planta esta diseñada para mantener una producción de 83.3 kg/h de biodiesel por lo que es necesario suministrar al proceso 8.78 kW de calor, donde el flash de separación del