

# Diseño de una planta sustentable para la generación de biodiesel en el territorio venezolano

*Juan Carlos Rosendo Rovati*<sup>1</sup>, *Beatriz Soledad*<sup>2</sup>

rosendojuanrovati95@hotmail.com<sup>1</sup>, bsoledad@ucab.edu.ve<sup>2</sup>, bsoledad@unimet.edu.ve<sup>2</sup>

Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela<sup>1,2</sup>

Universidad Metropolitana, Caracas, Venezuela<sup>2</sup>

## Resumen

El biodiesel es un biocombustible utilizado en mezcla parcial o total con el combustible fósil diésel, su producción representa una posible solución práctica para la problemática con la situación actual del combustible fósil. En Venezuela no existe una industria de biocombustibles fuertemente desarrollada, sin embargo, muchos países en Latinoamérica ya cuentan con esta tecnología. El objetivo de este trabajo fue diseñar conceptualmente una planta de biodiesel en territorio venezolano a partir de insumos de primera y segunda generación, siguiendo un modelo de investigación descriptivo y tecnológico, empleando aceites de cultivos como insumo de primera generación, y el uso de aceites vegetales reciclados junto con grasas animales como insumos de segunda. Se propuso una planta que genere biodiesel cumpliendo con los estándares internacionales de calidad, que pueda ser utilizado por motores diésel en mezcla parcial o total. Se estudiaron los procesos de refinamiento de la biomasa seleccionada, así como las tecnologías de transesterificación existentes. Teniendo como base el cálculo de cada flujo en los diferentes procesos, se dimensionaron y presupuestaron los equipos principales. En conjunto, este costo de equipos junto con un capital de trabajo, representan la cantidad total de inversión. Se estimó el costo de fabricación por tonelada de biodiesel y se evaluó económicamente el proyecto basado a una serie de flujos de caja e indicadores económicos. Finalmente, se identificaron los posibles aspectos e impactos ambientales asociados a las principales actividades en la planta, y se propusieron objetivos ambientales para establecer metas e indicadores como un sistema de gestión ambiental para la empresa.

**Palabras clave :** biocombustibles, biodiesel, biodiesel de primera generación, biodiesel de segunda generación, transesterificación, gestión ambiental empresarial

## Design of a sustainable plant for the generation of biodiesel in the Venezuelan territory

### Abstract

Biodiesel is a biofuel used in partial or total mixture with diesel fossil fuel; it represents a possible practical solution to the current situation regarding fossil fuel. In Venezuela there is no strongly developed biofuel industry, however, many countries in Latin America already have this technology. The objective of this work was to conceptually design a biodiesel plant in Venezuelan territory from first and second generation inputs, following a descriptive and technological research model, using crop oils as first generation input and the use of recycled vegetable oils along with animal fats as second-hand inputs. A plant that generates biodiesel complying with international quality standards was proposed, which can be used by diesel engines in partial or total mixture. The refining processes of the selected biomass were studied, as well as the existing transesterification technologies. Based on the calculation of each flow in the different processes, the main equipment was dimensioned and budgeted. Together, this equipment cost with a working capital, represents the total amount of investment. The manufacturing cost per ton of biodiesel was estimated and the project was economically evaluated based on a series of cash flows and economic indicators. Finally, the possible environmental aspects and impacts associated with the main activities in the plant were identified, and environmental objectives were proposed to establish goals and indicators such as an environmental management system for the company.

**Keywords:** biofuels, biodiesel, first generation biodiesel, second generation biodiesel, transesterification, alkaline transesterification, acid transesterification, environmental management.

### I. INTRODUCCIÓN

El biodiésel, es un biocombustible que se obtiene de aceites vegetales o grasa animal [1], este puede ser utilizado en mezcla parcial o total con el combustible fósil diésel y representa una posible solución práctica tanto para la problemática con la situación actual del combustible fósil diésel en Venezuela [2], como para contribuir a la sostenibilidad ambiental.

Por este motivo, surge la idea de desarrollar un trabajo investigativo, técnico y descriptivo con el objetivo de elaborar una propuesta de un posible diseño conceptual para una planta de biodiesel en el país, en el cual se exploraron las posibles fuentes de insumo de biomasa para una planta de biodiesel en Venezuela [3], se analizó el proceso industrial de transesterificación (que consiste en la reacción entre las grasas (triglicéridos) presentes en un aceite vegetal con un alcohol de cadena corta como metanol o etanol, dando como productos los ésteres (biodiesel) y la glicerina) y de purificación (consistente en la separación del glicerol del biodiesel una vez ocurrida la reacción de transesterificación, y el posterior lavado del biodiesel con ácidos diluidos) [4, 5, 6] para las fuentes de biomasa seleccionadas, se describe la cadena de valor y abastecimiento respecto a guías normativas de ambiente [7], se analizaron las diferentes alternativas viables para el diseño de la planta [8,9], evaluando técnica y económicamente las especificaciones de tecnología, dimensión y localización de la misma y se evaluó la inversión del proyecto.

### II. ENFOQUE

El enfoque de la investigación es del tipo mixto, se analizan características y datos cualitativos y cuantitativos de los procesos químicos y variables existentes en la producción industrial de biodiesel.

### III. METODOLOGÍA

Los métodos y herramientas utilizados en esta investigación se describen a detalle en la Tabla I

Tabla I: Técnicas y herramientas utilizados

Herramienta	Descripción
Diagrama de flujo de procesos	Es un diagrama comúnmente utilizado en ingeniería química y de procesos para indicar el flujo general de los procesos y equipos de la planta.
Microsoft Excel	Hoja de cálculo desarrollada por Microsoft. Cuenta con cálculo, herramientas gráficas, tablas calculares y un lenguaje de programación macro
Visio Standard	Software de dibujo vectorial para dibujar variedad de diagramas.
SketchUp	Programa de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones. Es utilizado para el modelado de entornos de planificación urbana, arquitectura, ingeniería civil, diseño industrial, entre otros

Fuente: Elaboración propia

### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al explorar las posibles fuentes de biomasa para la producción de biodiesel en nuestro país, se encuentra que los insumos principales de biomasa de primera generación provienen de cultivos oleaginosos de palma aceitera, sésamo, maíz o girasol. En la (Tabla II), se presenta el uso de cada uno de los cultivos anteriores tanto en la alimentación (propósito alimenticio) como en otros propósitos. La palma aceitera presenta los mejores rendimientos en términos de extracción del aceite por hectárea y además se emplea principalmente en productos no alimenticios, por este motivo se escogió a este producto como posible fuente de biomasa.

Tabla II: Producción, importación, y usos del aceite vegetal para 2018

Aceite	Elemento	Cantidad (toneladas)
Palma	Producción	40.000
	Importación	29.000
	Propósito alimenticio	60.000
	Otros usos	9.000
Soya	Producción	35.000
	Importación	408.000
	Propósito alimenticio	160.000
	Otros usos	268.000
Girasol	Producción	7.000
	Importación	0
	Propósito alimenticio	7.000
	Otros usos	0
Sésamo	Producción	8.000
	Importación	0
	Propósito alimenticio	8.000
	Otros usos	0
Maíz	Producción	41.000
	Importación	0
	Propósito alimenticio	41.000

Fuente: Servicio de Datos KNOEMA [3]

Los posibles insumos de segunda generación son las grasas animales de desecho, y el aceite vegetal reciclado (Tabla III). Los aceites de cocina pueden llegar a producirse en cantidades significativas de 150 litros mensuales por local de comida rápida, gran parte de las grasas de origen animal generadas anualmente no son aprovechadas.

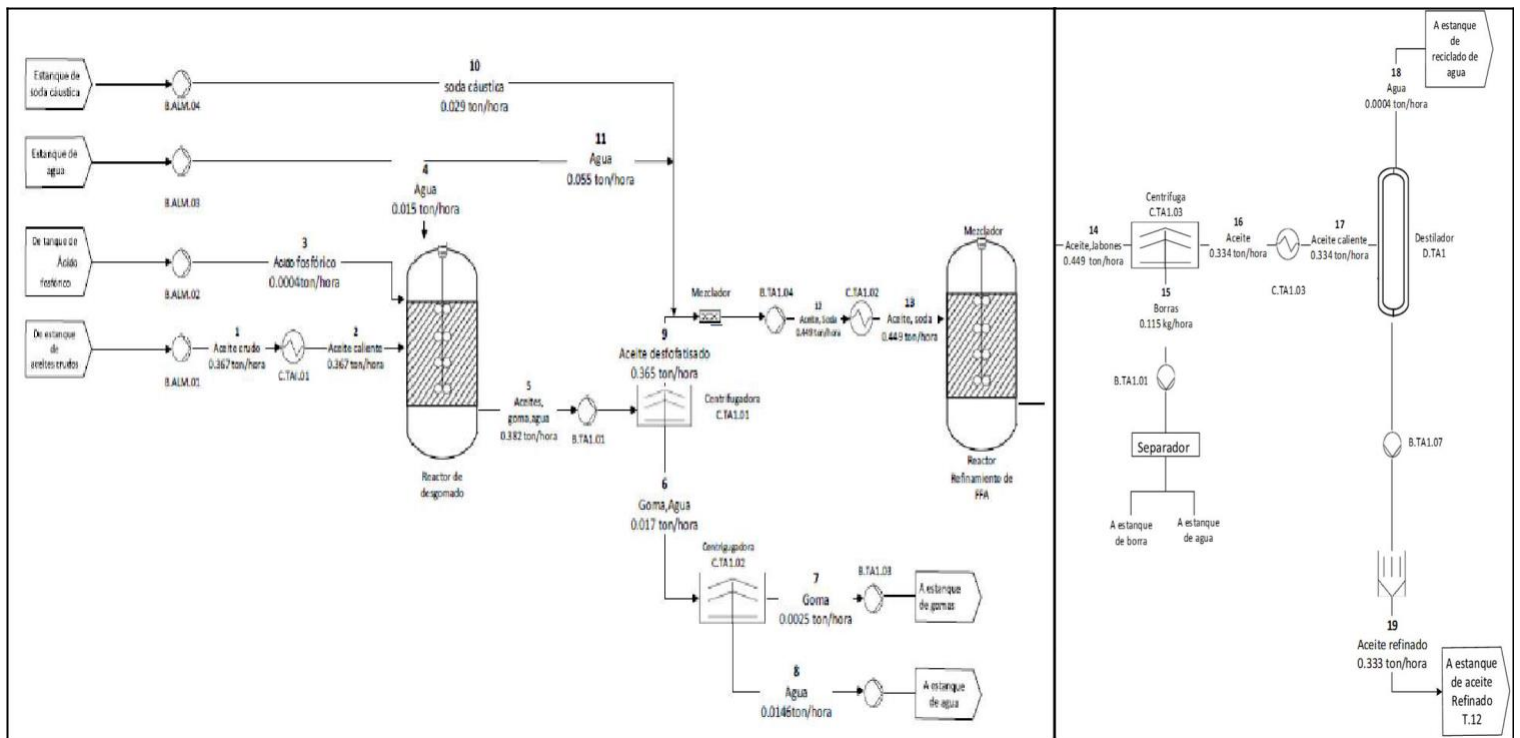
Tabla III: Datos internos grasas

Grasa animal	Cantidad (toneladas)
Producción	29.000
Importación	0
Exportación	0
Suministro interno	29.000
Uso alimenticio	24.000
Uso no alimenticio	1.000
No aprovechado	2.000

Fuente: Servicio de Datos KNOEMA [3]

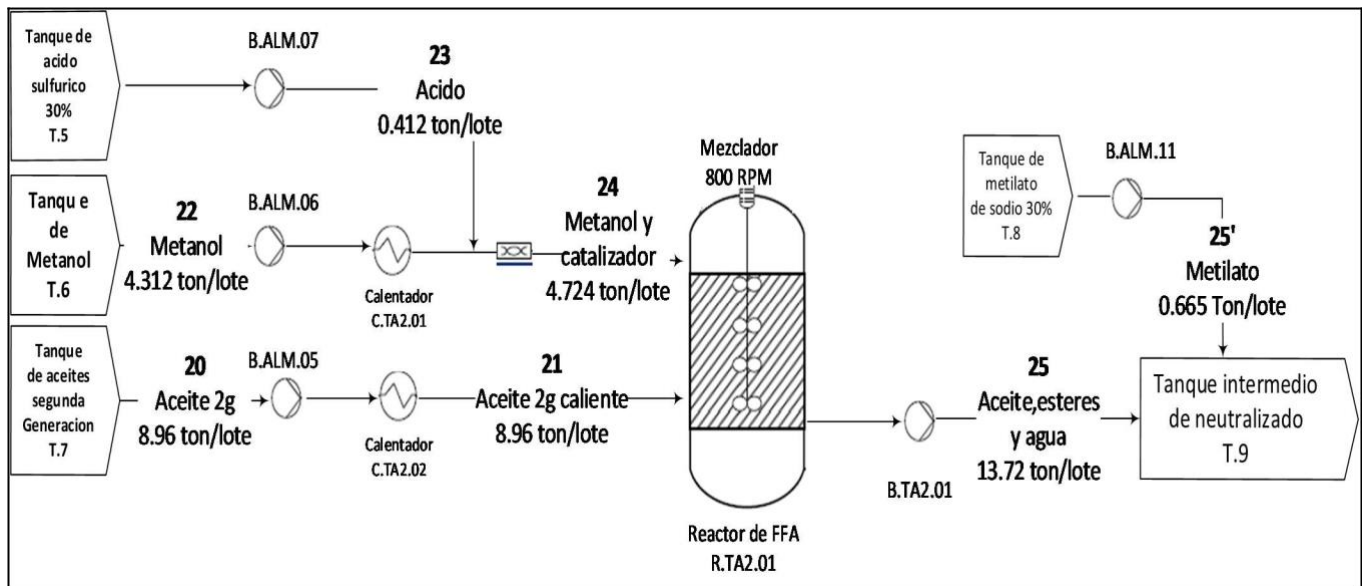
Al analizar el proceso industrial de transesterificación y purificación para las fuentes de biomasa seleccionadas, se encontró que para los insumos de primera generación se tienen como resultado final los procesos de refinamiento, de desgomado y saponificación de ácidos grasos libres (figura 1), en los cuales se observa el reactor de desgomado y el reactor de refinamiento.

Figura 1. Diagrama de flujo refinamiento por desgomado y saponificado de ácidos grasos libres. Fuente: Elaboración propia



Para los insumos de segunda generación se tiene como resultado final el proceso de refinamiento por esterificación ácida (Figura 2).

Figura 2. Diagrama de flujo refinamiento por esterificación ácida. Fuente: Elaboración propia



Como resultado final al proceso de transesterificación, se implementa el proceso de transesterificación tradicional alcalina con tecnología modular para los aceites 1G Y 2G refinados (Figura 3).

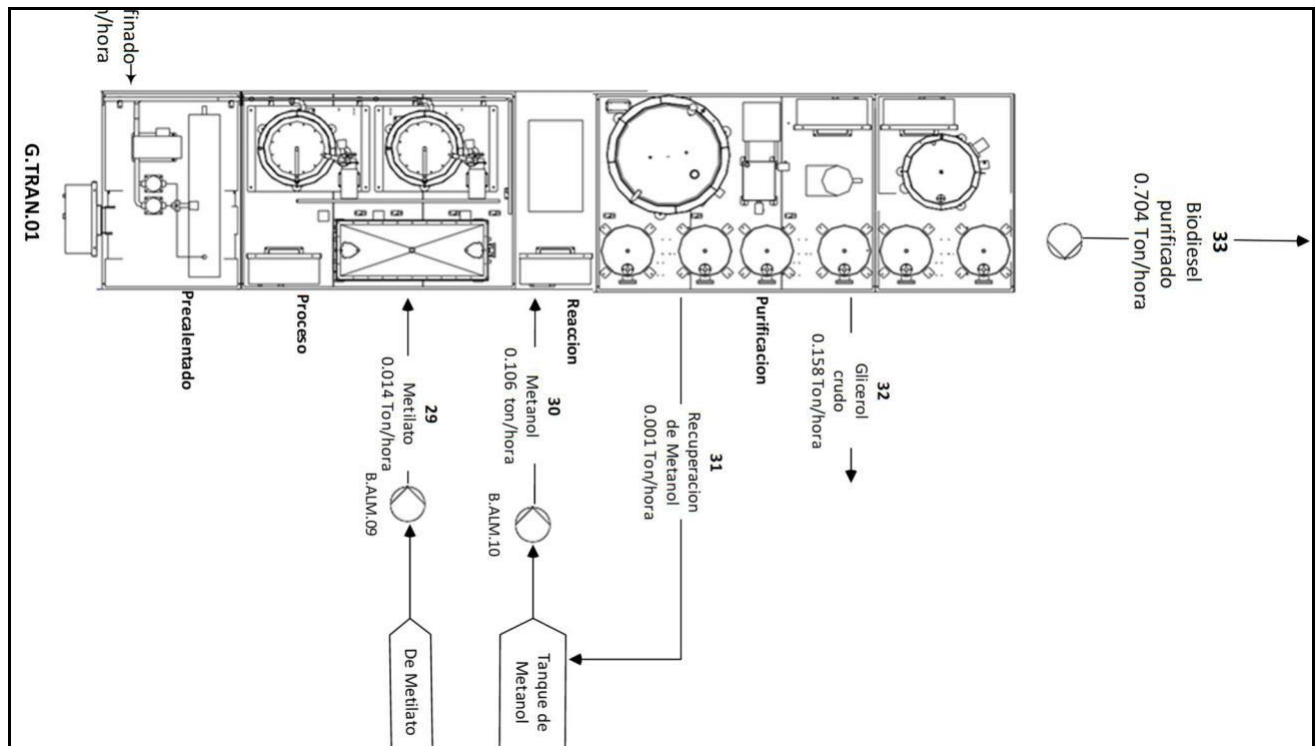


Figura 3. Diagramas de flujo transesterificación alcalina Fuente: Elaboración propia

Para describir la cadena de valor y abastecimiento respecto a guías normativas de ambiente, se identificaron aspectos e impactos ambientales a partir de las principales actividades de adquisición de insumos y procesos internos de producción, dando con los distintos objetivos que servirían para establecer metas e indicadores ambientales, los cuales se presentan en la tabla IV

Tabla IV: Aspectos, impactos y objetivos ambientales

Actividad	Aspecto	Impacto	Objetivo
Adquisición de insumos de primera generación	Balances de carbono positivos	Reducción significativa de la contaminación en el aire, alivio a la atmósfera	Mantener la condición de carbono positivo o neutro
	Balances de carbono neutros	Sin contribución a emisiones atmosféricas	
	Balances de carbono negativo	Niveles de contaminación iguales o superiores al de combustibles fósiles, agotamiento de recursos, pérdida de biodiversidad	Controlar el impacto ambiental del suministro de los insumos de primera generación
Adquisición de insumos de segunda generación	Utilización de insumos reciclados	Reducción de la contaminación de aguas y suelos por reutilización de los aceites quemados	Promover la conciencia ambiental entre empleados y la comunidad
Procesos internos producción	Generación de residuos reciclables	Reducción de contaminación, aprovechamiento de recursos	Minimizar cualquier impacto ambiental adverso generado por los procesos
	Consumo de energías renovables	Fomento de buenas prácticas ambientales, sustentabilidad	
	Derrame accidental de químicos	Afectación a la salud humana, contaminación de agua y aire	

Fuente: elaboración propia

Se estudiaron las distintas alternativas tecnológicas de transesterificación modular existentes (tradicional, enzimática y supercrítica) y se evaluaron técnica y económicamente las especificaciones de tecnología, dimensión y su localización. En la figura 4, se presentan diferentes plantas modulares para el proceso de transesterificación.

Figura 4. Plantas modulares de biodiesel, enzimática, supercrítica, y tradicional. Fuente: Elaboración propia



Se dimensionaron los equipos principales en base a los flujos estimados calculados para cada proceso, según se indica en la tabla V.

Tabla V. Tablas de flujos y composición

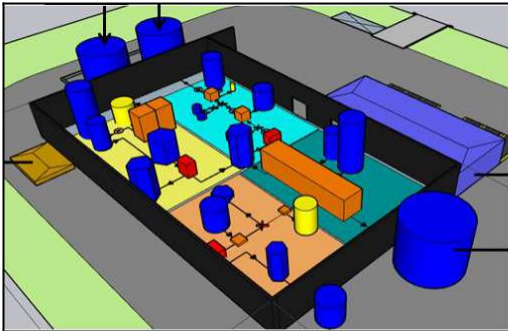
Nro del flujo	1	2	3
Descripción	Aceite crudo	Aceite calentado	Acido fosforico
Composición			
<b>Aceite</b>	Ton/ día	Ton/ día	Ton/ día
Triglicéridos	8,569	8,569	
Ácidos grasos libres	0,220	0,220	
Fosfatidos	0,009	0,009	
No saponificables	0,014	0,014	
Metanol			
Metil éster			
Agua			0,0016
Glicerol			
Salas (sulfato de sodio)			
Jabones			
Goma			
Hidróxido de Sodio			
Acido clorhídrico			
Acido fosforico			0,009
Metilato de sodio			
<b>Total (ton/día)</b>	<b>8,812</b>	<b>8,812</b>	<b>0,0104</b>
<b>Total (L/día)</b>	<b>9901</b>	<b>10187,146</b>	<b>5,153</b>
<b>Total (ton/hora)</b>	<b>0,367</b>	<b>0,367</b>	<b>0,0004</b>
Datos			
Temperatura (°C)	35,00	70,00	20,00
Calor específico (KJ/KG, C)	1,89	1,99	
Densidad (ton/m3)	0,89	0,87	1,71
Flujo volumétrico (m3/hora)	0,41	0,42	0,00

Fuente: Elaboración propia

La localización geográfica óptima se escogió dependiendo de la cercanía a los insumos de primera generación en la región Zuliana, posiblemente en la zona industrial.

El diseño de un modelo tridimensional de la planta de fabricación de biodiésel junto con sus procesos y equipos a escala representativa se presenta en la Figura 5.

Figura 5. Modelo tridimensional de la planta de fabricación de biodiesel con la ubicación de los diferentes equipos. Fuente: Elaboración propia



Se evaluó el capital a solicitar para la puesta en marcha de la fábrica de biodiésel, y el mismo está conformado por un monto de inversión en equipos principales más un capital de trabajo para 6 meses de operación; la tasa y periodo de pago para el préstamo utilizado son del 15% y 60 meses o 5 años respectivamente. En la tabla VI se presentan los montos en dólares anteriormente señalados.

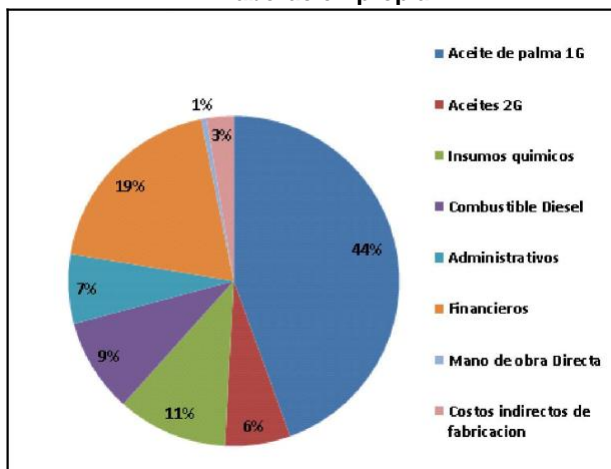
Tabla VI: Inversión a solicitar

Inversión equipos (USD)	Costos anuales administrativos (USD)	Costos anuales de producción (USD)	Capital a solicitar (USD)
1.264.859	328.403	3.590.706	3.224.414

Fuente: Elaboración propia

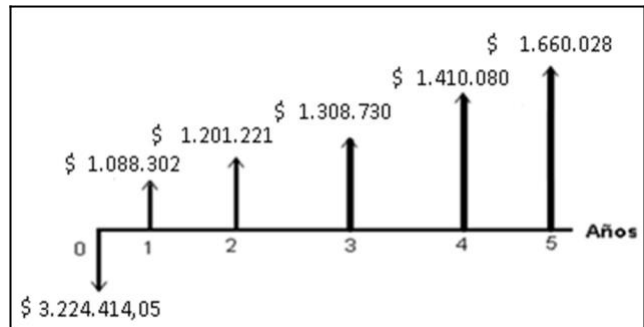
Se estimó un costo de producción por tonelada de biodiesel de 835 USD, equivalente a unos 0.72 \$/L, costo que resulta competitivo respecto al precio internacional del mismo, en la figura 6, se presenta los diferentes costos involucrados en el proceso de fabricación.

Figura 6. Costos por tonelada de biodiesel. Fuente: Elaboración propia



Como se observa en la figura 7, se obtuvieron resultados positivos en términos de flujos netos estimados, e indicadores VPN, y TIR, último con el que estima una tasa interna de retorno máxima del 27.9% para el periodo de pago del financiamiento, lo que demuestra una tendencia a la buena rentabilidad del negocio.

Figura 7. Serie de flujos de caja. Fuente: Elaboración propia



## V. CONCLUSIONES

Se consiguió un diseño conceptual de una planta de biodiesel, a partir de insumos mixtos, tales como palma aceitera, grasas animales de desecho y aceite vegetal reciclado que incluye un proceso industrial de transesterificación y refinación para la biomasa de primera y segunda generación seleccionada, teniéndose los procesos de desgomado y saponificación de ácidos grasos libres para los insumos de primera generación; y esterificación ácida para los insumos de segunda generación, junto con un proceso de transesterificación tradicional alcalina para los aceites refinados en el territorio Venezolano, incorporando parámetros para un sistema de gestión ambiental, dando como resultado la posibilidad de fabricar este producto a un costo competitivo con el mercado internacional y obteniendo una buena rentabilidad del negocio.

## VI. RECOMENDACIONES

- El costo por litro de biodiésel obtenido es inferior al costo por litro de diésel fósil; esto es ideal sin embargo no es lo usual ya que generalmente los costos de producción del biodiesel suelen ser mayores al de su contraparte fósil. El resultado se debe principalmente a que se incorporan en grandes cantidades (50%) insumos de segunda generación, los cuales son significativamente más económicos que el aceite de palma, que representa alrededor del



45% del costo de biodiesel por tonelada. Es por esto que se recomienda incorporar la mayor cantidad posible de este tipo de insumos de segunda generación, adaptando los procesos de planta a los mismos para así no solo aminorar los costos y tener un precio más competitivo y asequible para el consumidor promedio en Venezuela, sino para ayudar a cumplir con los objetivos ambientales al utilizar un insumo reciclado.

- Parte de los costos pueden ser optimizados, como los costos asociados al consumo de diésel por el quemador de la caldera de vapor y sistema de generación eléctrico auxiliar. Se recomienda adquirir equipos que puedan funcionar a partir del mismo biodiesel o subproductos generados en la planta, en mezcla total o parcial, esto le brindaría autonomía a la misma al no depender de combustibles fósiles para su funcionamiento, y reducir aún más los costos y emisiones.

- No se toma en cuenta las ventas del glicerol como subproducto; la glicerina obtenida, aunque tiene valor comercial no es glicerina de alta pureza, se necesita de inversión adicional en equipos y procesos de refinación como desodorización y purificación por carbón activado, para incrementar su valor. Se recomendaría añadir estos procesos a la planta, para incrementar los márgenes de ganancia al tener un subproducto más puro.

#### REFERENCIAS

- [1] Medina Villadiego M., Ospino Roa Y., & Tejeda Benítez L. (2015). Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel. Revista Luna Azul (On Line), (40), 25-34. <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.3>
- [2] Hernandez, N. (2020). CEDICE. Recuperado el 15 de Diciembre de 2020, de Ideas en accion: <https://cedice.org.ve/venezuela-el-parque-automotor-y-los-combustibles-por-nelson-hernandez/#:~:text=En%20cuanto%20al%20tipo%20de%20resto%200.33%20MV%20diesel.&text=Por%20otra%20parte%2C%20el%20consumo,los%20veh%C3%ADculos%20a%20diesel%20operativos>
- [3] Servicios de datos KNOEMA. <https://knoema.es/atlas/Mundo>

- [4] Banani, R. y. (2014). Waste Frying Oil with High Levels of Free Fatty Acids as one of the prominent sources of Biodiesel Productio. Recuperado el Abril de 2021, de [https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol6/vol6\\_N4/138-JMES-1375-2015-Banani.pdf](https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol6/vol6_N4/138-JMES-1375-2015-Banani.pdf)

- [5] Dunford, N. (Julio de 2016). Biodiesel Production Techniques. Recuperado el Marzo de 2021, de <https://extension.okstate.edu/factsheets/biodiesel-production-techniques.html>

- [6] Knothe, G. (2010). Calidad del combustible biodiésel y la norma astm. Recuperado de: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1563>

- [7] Secretaria central ISO. (2015). ISO 14,001 Sistemas de gestion ambiental. Recuperado el Mayo de 2021, de <http://itvalledelguadiana.edu.mx/ftp/Normas%20ISO/ISO%2014001-2015%20Sistemas%20de%20Gestion%20Ambienta.pdf>

- [8] Lamoureux, J. H. (2007). Diseño conceptual de una planta de Biodiesel. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

- [9] Lares Pinto, F. D. (Marzo de 2009). Estudio socio tecnico-economico para la creacion de un desarrollo sustentable para la instalacion de una planta extractora de aceite de palma de palma aceitera en el estado Monagas. Recuperado el Febrero de 2021, de <https://palmaceite.tripod.com/estudioextractora.pdf>