

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

Estudio de Factibilidad del rediseño e implementación de una sección de purificación en una planta de biodiesel de una empresa ecuatoriana.

José Gabriel Guzmán Alarcón

Ingeniería Química

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniería Química

Quito, 8 de mayo de 2023

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Estudio de Factibilidad del rediseño e implementación de una sección de purificación de una planta de biodiesel de una empresa ecuatoriana.

José Gabriel Guzmán Alarcón

Nombre del profesor, Título académico

Juan Diego Fonseca, PhD.

Quito, 8 de mayo de 2023

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: José Gabriel Guzmán Alarcón

Código: 00207470

Cédula de identidad: 1719215533

Lugar y fecha: Quito, 8 de mayo de 2023

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

El presente proyecto tiene la finalidad de realizar un análisis de factibilidad técnico-económica sobre el rediseño de una planta de biodiesel de una empresa ecuatoriana. Para lo cual, se analiza el mercado de biocombustibles en Ecuador, con las diferentes limitaciones que tiene un proyecto como el planteado. Por consiguiente, se tienen que aplicar conceptos ingenieriles en la decisión del mejor método de rediseño y de la implementación de una sección de purificación. Se realizan los diagramas de bloques y de flujos, tomando en cuenta el proceso de transesterificación y la purificación con solventes como el hidróxido de sodio. Se presentan además, los diferentes balances de masa con una producción mensual de 81504 toneladas métricas de biodiesel, balances de energía, los equipos utilizados y el dimensionamiento de cada uno de ellos. Se analizan las características del biodiesel obtenido a partir de palma africana y se concluyen que es posible mezclar en volumen con un 15% con diésel tradicional, es de mejor calidad que el producido hoy en día y cumple con los estándares internacionales. Por último, se realiza el análisis de factibilidad económica para conocer si el proyecto es rentable; analizando factores como el flujo de caja, costos de inversión, la vida útil del proyecto y demás factores necesarios para analizar la rentabilidad del proyecto. Se concluye que a partir del tercer año de funcionamiento del rediseño la planta se tienen utilidades, además se concluyen diferentes ideas en relación con los objetivos específicos planteados y se proponen mejoras para próximas investigaciones del tema.

Palabras clave: biodiesel, rediseño, transesterificación, purificación, palma africana.

ABSTRACT

The purpose of this project is to carry out a technical-economic feasibility analysis of the redesign of a biodiesel plant for an Ecuadorian company. For this purpose, the biofuels market in Ecuador is analyzed, with the different limitations that a project such as the one proposed has. Consequently, engineering concepts must be applied in the decision of the best redesign method and the implementation of a purification section. Block diagrams and flow diagrams are made, considering the transesterification process and purification with solvents such as sodium hydroxide. The different mass balances with a monthly production of 81504 metric tons of biodiesel, energy balances, the equipment used and the sizing of each one of them are also presented. The characteristics of the biodiesel obtained from African palm are analyzed and it is concluded that it is possible to mix in volume with 15% with traditional diesel, it is of better quality than the one produced today, and it complies with international standards. Finally, an economic feasibility analysis is carried out to determine whether the project is profitable, analyzing factors such as cash flow, investment costs, the useful life of the project and other factors necessary to analyze the profitability of the project. It is concluded that from the third year of operation of the plant there are profits, also different ideas are concluded in relation to the specific objectives and improvements are proposed for future research on the subject.

Keywords: biodiesel, redesign, transesterification, purification, African palm.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO	12
1.1. Antecedentes	12
1.1.1. Uso de biocombustibles a nivel mundial	12
1.1.2. Producción y usos del biodiesel en Ecuador	13
1.2. Propuesta del Proyecto	14
1.2.1. Objetivos propuestos	14
1.2.2. Justificación del Proyecto	15
2. Bases del diseño de la planta de producción de biodiesel.....	16
2.1. Descripción del biodiesel	16
2.2. Descripción de materias primas utilizadas en el proceso de producción.....	17
2.3. Ubicación de la planta	17
2.4. Limitaciones en el rediseño de la planta de biodiesel	18
2.4.1. Limitaciones internas	18
2.4.2. Limitaciones externas	18
3. Selección del proceso de rediseño e implementación del método de purificación para la obtención de biodiesel	19
3.1. Selección del método de rediseño.....	19
3.2. Descripción del proceso de producción de biodiesel	19
3.3. Análisis y comparación de métodos de purificación.....	22
3.4. Definición de los caudales de producción en el proceso	23
3.4.1. Balance de masa en la producción de biodiesel	23
3.4.2. Balance de energía en la producción de biodiesel	24
4. Diseño de la planta de producción de biodiesel mediante Transterificación	26
4.1. Selección de los equipos en el rediseño.....	26
4.2. Dimensionamiento de los equipos.....	26
4.2.1. Análisis de seguridad HAZOP	26

4.2.2. Diagrama de control del reactor	27
5. Análisis económico	29
5.1. Estimación de egresos del Proyecto	29
5.1.1. Estimación de los costos de los equipos	29
5.1.2. Estimación de los costos de producción	29
5.1.3. Cálculo de la estimación del capital de trabajo e inversión del capital fijo	30
5.2. Cálculo de la rentabilidad del proyecto	31
5.2.1. Flujo de caja del proyecto	31
5.2.2. Vida útil del proyecto.....	32
5.2.3. Tiempo de la recuperación de la inversión	32
5.2.4. Cálculo de los indicadores de rentabilidad TIR y VAN	33
6. CONCLUSIONES.....	34
7. REFERENCIAS.....	36
8. ANEXOS.....	39
8.1. ANEXO A. Estadísticas del uso de biodiesel en el mundo y en Ecuador.....	39
8.2. ANEXO B. Limitaciones, reglamentos y códigos gubernamentales.....	41
8.3. ANEXO C. Diagramas de flujo planta de biodiesel actual y balances de masa y energía.....	45
8.4. ANEXO D. Selección y dimensionamiento de los equipos.	53
8.5. ANEXO E. Condiciones de seguridad de las materias primas y HAZOP.....	54
8.6. ANEXO F. Costos de los equipos según catálogo.....	60
8.7. ANEXO G. Metodología empleada en el análisis económico.....	64
8.8. ANEXO H. Evaluación económica del proyecto.	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características y propiedades del biodiesel	16
Tabla 2. Características y descripción de las materias primas utilizadas en el proceso.	17
Tabla 3. Comparación de los métodos de purificación.....	23

ÍNDICE DE TABLAS EN ANEXOS

Tabla A 1. Normas INEN sobre calidad de biodiesel.	41
Tabla A 2. Limitaciones del Régimen de Control Hidrocarburífero.	42
Tabla A 3. Ley Orgánica de la Soberanía Alimentaria.	43
Tabla A 4. Estándares de biodiesel en los E.E.U.U Y U.E.....	44
Tabla A 5. Balance de masa equipo TK-101	46
Tabla A 6. Balance de masa equipo TK-102	46
Tabla A 7. Balance de masa equipo TK-103	46
Tabla A 8. Balance de masa equipo R-101	47
Tabla A 9. Balance de masa equipo R-102.....	47
Tabla A 10. Balance de masa equipo D-101.....	47
Tabla A 11. Balance de masa equipo R-103.....	48
Tabla A 12. Balance de masa equipo D-102.....	48
Tabla A 13. Balance de masa equipo E-101	48
Tabla A 14. Balance de masa equipo E-102	49
Tabla A 15. Balance de masa equipo E-103	49
Tabla A 16. Balance de masa equipo C-101	49
Tabla A 17. Balance de masa equipo TW-101	50
Tabla A 18. Balance de masa equipo TW-102	50
Tabla A 19. Balance de masa equipo TS-102.....	50
Tabla A 20. Balance de masa equipo TS-101	51
Tabla A 21. Propiedades de los equipos para el balance de energía.....	51
Tabla A 22. Balance energético de la planta.....	52
Tabla A 23. Dimensiones de los equipos correspondientes al catálogo de venta.	53
Tabla A 24. Análisis HAZOP del reactor de transesterificación.	57
Tabla A 25. Valores del Factor Lang.....	64

Tabla A 26. Valores del Factor Hand.	64
Tabla A 27. Valores del Factor detallado.	65
Tabla A 28. Costos de los equipos por los tres métodos.	66
Tabla A 29. Cálculo de los valores del Factor Hand y Detallado.	66
Tabla A 30. Costo de la materia prima.	66
Tabla A 31. Cálculo de la inversión de capital fijo.	67
Tabla A 32. Costos labores de operación.	67
Tabla A 33. Costo de la energía eléctrica.	67
Tabla A 34. Total, costo de producción.	67
Tabla A 35. Parámetros impuestos para el capital de trabajo.	68
Tabla A 36. Total, costo de capital de trabajo anual.	68
Tabla A 37. Estimación de ingresos del proyecto.	68
Tabla A 38. Cálculo del ingreso bruto y neto.	69
Tabla A 39. Resumen de los valores de estimación de costos.	69
Tabla A 40. Cálculo flujo de caja.	69
Tabla A 41. Cálculo del VAN y TIR.	70
Tabla A 42. Cálculo del flujo de caja acumulado, método MACRS.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloque del proceso de obtención de biodiesel.....	21
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de obtención de biodiesel.	25
Figura 3. Diagrama del control del reactor de transesterificación.	28
Figura 4. Flujo de Caja del Proyecto.	32
Figura 5. Tiempo de recuperación de la inversión por el método MACRS.	33

ÍNDICE DE FIGURAS EN ANEXOS

Figura A 1. Matriz energética mundial	39
Figura A 2. Mayores productores de biodiesel mundial.	39
Figura A 3. Matriz energética en el Ecuador	40
Figura A 4. Diagrama de Flujo Planta actual.....	45
Figura A 5. Diamante de seguridad aceite de palma.	54
Figura A 6. Diamante de seguridad etanol.....	55
Figura A 7. Diamante de seguridad hidróxido de sodio.	56
Figura A 8. Costo de los reactores por catálogo.	60
Figura A 9. Costo del decantador por catálogo.....	60
Figura A 10. Costo del evaporador por catálogo.	61
Figura A 11. Costo del condensador por catálogo.	61
Figura A 12. Costo del tanque de tratamiento de agua por catálogo.	62
Figura A 13. Costo de los tanques de almacenamiento por catálogo.	62
Figura A 14. Costo de las bombas por catálogo.	62
Figura A 15. Costo de los tanques de recepción por catálogo.	63
Figura A 16. Resumen de la dimensión de los equipos.	63
Figura A 17. Fórmulas para el cálculo del Factorial detallado.	65

1. INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Uso de biocombustibles a nivel mundial

El incremento en la producción de medios de transporte y la facilidad para adquirirlos ha hecho que los combustibles obtenidos por restos fósiles no sean suficientes para satisfacer la demanda mundial. Por esta razón, países del primer mundo han comenzado a imponer propuestas para que los biocombustibles formen parte de la matriz energética; por ejemplo, Estados Unidos y Brasil tienen porcentajes mayores al 25% del uso de biocombustibles, le siguen China, Indonesia, Argentina y Francia, como se muestra en las Figuras A1 y A2 en Anexos (Torroba, 2020).

Por esta razón, el biodiesel nace como una solución energética viable para satisfacer la demanda mundial. Se lo considera una fuente de energía renovable, siendo un biocombustible reconocido desde 1998 (Universidad de Palermo, 2014), para ser más exactos, se define al biodiesel como un biocombustible líquido que proviene de aceites vegetales o grasas animales. Es también considerado como una fuente de energía limpia, por esta razón muchos países han considerado impulsar proyectos en la producción de esta fuente de energía. Por esta misma premisa, en los últimos años se ha visto los vastos tipos de métodos y procesos para la producción del biodiesel.

Uno de los puntos más importantes por las que el biodiesel ha tenido gran impacto, es que la producción de éste reduce los gases de efectos invernadero. Además, su combustión, produce una cantidad totalmente menor en cuestión de niveles de emisión de dióxido de carbono, óxido de azufre, óxido nítrico y demás gases de efecto invernadero que produce la combustión de diésel tradicional obtenidos por combustibles fósiles (Álvarez, 2020). Hay que

aclarar también que, el biodiesel forma parte de los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU, ya que es un combustible biodegradable no explosivo, no inflamable y no tóxico (Castro, 2016). Ya que, con la producción de este biocombustible se está poniendo énfasis en el cuidado del medio ambiente.

1.1.2. Producción y usos del biodiesel en Ecuador

Ecuador es uno de los países en donde no se cumplen con los parámetros de la calidad del aire impuestos por la Organización Mundial de la Salud, por esta razón la producción y uso de este biocombustible reducirá la contaminación ambiental del país. Se estima según el gráfico mostrado en el Anexo A-3, que en Ecuador el uso del biodiesel sólo representa el 2% del total de otras fuentes de energía como la gasolina, el diésel tradicional e hidroenergía (Castro, 2016).

La calidad del biodiesel ecuatoriano no es de máxima calidad, considerando que es uno de los países en América Latina con más capacidad tomando en cuenta su fuente agrícola y los desperdicios como lo es el aceite de palma africana, aceite de soya y el aceite de *Jatropha Curcas*. Además, se impuso una ley en Ecuador, que el diésel Eco-País debe ser mezclado en una proporción del 10% en volumen en las gasolineras del país. Por esta razón, mediante correctos análisis de las plantas de producción que se encuentran en el país, se puede optimizar el proceso productivo para que pueda tener una mayor relevancia en las fuentes energéticas (APALE, 2021).

Existen algunas plantas de producción de biodiesel en el país, siendo las dos más grandes, las ubicadas en Guayaquil y Montecristi, entre las dos producen alrededor de 32000 toneladas métricas por mes (Líderes, 2023). Con un correcto rediseño e implementación de mejores métodos de purificación de este biocombustible, se podrá producir más cantidad de producto, cumpliendo con el régimen de soberanía alimentaria; logrando así poder exportar

más biodiesel a Europa y Estados Unidos y poder mezclarlo en una proporción del 15% en volumen.

1.2. Propuesta del Proyecto

En una de las plantas productoras de biodiesel del país, se ha visto una oportunidad de mejoras en el proceso de producción, logrando así optimizar la producción de esta planta, la cual pertenece a una empresa ecuatoriana. La actividad por realizar es un análisis de factibilidad técnico-económico del rediseño de dicha planta a partir de palma africana, produciendo alrededor de 81500 toneladas métricas de biodiesel de máxima calidad. Además, el método de rediseño que se aplicará será con énfasis en el método de purificación; con lo cual se podrá producir un biodiesel de máxima calidad que pueda ser mezclado con diésel tradicional en el país y que pueda ser exportado.

1.2.1. Objetivos propuestos

El objetivo general del presente proyecto es el siguiente:

Objetivo general: Desarrollar un estudio de factibilidad técnico-económico del rediseño de una planta de biodiesel incluyendo una sección de purificación, para que el biodiesel ecuatoriano tenga una mejor calidad y pueda ser exportado en mayor cantidad.

Para el cumplimiento del objetivo general, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Seleccionar un proceso para el rediseño de la planta de producción de biodiesel de la empresa ecuatoriana.
2. Incorporar una sección extra de purificación en el rediseño elaborado.
3. Realizar un estudio de factibilidad económica, para analizar la rentabilidad del proyecto.

1.2.2. Justificación del Proyecto

Dentro de las justificaciones de la implementación del rediseño de una planta de biodiesel ecuatoriana, se toman en cuenta las siguientes premisas que apoyan la resolución del análisis de factibilidad técnico-económico. Por esta razón, una de las mayores razones por las que el proyecto tiene sustento se debe a la reducción de gases de efecto invernadero en el país, específicamente las partículas sólidas menores a 10 micrones; con una correcta producción de este biocombustible se logrará reducir estos daños a la capa atmosférica y cumplir con uno de los objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU (Zambrano, 2020).

Además, al tener una industria que genere estabilidad y confianza, se crearán varias plazas de trabajo, porque se tendrá una mayor producción que la actual. Este biocombustible al ser de origen natural, la materia prima necesaria vendrá de fuentes agrícolas (palma africana), por consecuencia, en el país se creará una producción circular entre el sector de la agricultura y el sector de producción del biodiesel (Álvarez, 2020). Por consecuencia, al mostrar éxito una industria, más investigaciones sobre el tema por parte de la academia aparecerán, como se ve en países como Argentina y Brasil.

Por último, la justificación económica del estudio de factibilidad del proyecto será la obvia generación de cientos de ingresos si el proyecto se pone en marcha, ya que se producirá un biodiesel de mejor calidad y se podrá exportar con precios muy diferentes al actual. Además, el sector de los biocombustibles en el país tendrá más solidez económica para afrontar cualquier cambio o déficit de los biocombustibles (Navas, 2021). Y, por último, al necesitar una mayor cantidad de materia prima por parte del sector agrícola para la producción del biodiesel, se crearán nuevos proyectos de agricultura para el cultivo de la palma africana, lo que por consecuencia generará más ingresos en el campo agrícola del Ecuador (Ministerio de Producción Ecuador, 2017).

2. BASES DEL DISEÑO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

2.1. Descripción del biodiesel

El biodiesel en el proceso de rediseño de la planta de producción es un combustible de origen natural, renovable, limpio y que proviene de la palma africana, el cual contiene un porcentaje de 96.5% en ésteres y 0.21% de glicerina y lo más importante del producto es que puede ser mezclado en un 15% en volumen con diésel debido a sus propiedades y además no afecta a los motores de combustión. En la siguiente tabla se pueden analizar las características más importantes del biodiesel de máxima calidad (Benavides et al., 2018).

Tabla 1. Características y propiedades del biodiesel

Características	Valores
Contenido de ésteres	> 96.5 % masa
Viscosidad	4.5 $mm^2 s^{-1}$
Contenido de agua	< 0.05 $mg kg^{-1}$
Residuos de carbono	< 0.05 % masa
Contenido de glicerol	< 0.23 % masa

Con las propiedades mostradas sobre el producto, se puede tener un biocombustible de buena calidad en el país y exportarlo. En la Tabla A4 en Anexos, se puede ver la calidad que debe tener el biodiesel para ser exportado en la U.E y E.E.U.U. Por tanto, se necesitan producir alrededor 2800L por cada hectárea de palma africana recibida. Con ello, se espera una producción de 80000 toneladas métricas mensuales de biodiesel. Hay que aclarar que, este caudal de producción se ha establecido, tomando en cuenta el régimen de soberanía alimentaria del Ecuador (Soberanía Alimentaria, 2019).

2.2. Descripción de materias primas utilizadas en el proceso de producción

En el proceso de producción de biodiesel a partir de palma de africana, se usan las siguientes materias primas. Para lo cual, en la siguiente tabla se describe su función en el proceso de producción tanto físico como químico, su costo por unidad de masa y los proveedores. Se debe aclarar que, los términos expresados en las funciones en el proceso de producción son explicadas en el Capítulo 3 (Campos et al., 2013).

Tabla 2. Características y descripción de las materias primas utilizadas en el proceso.

Materia prima	Costo por unidad de masa	Función en el proceso de producción
Palma africana	US\$ 1794 tonelada de palma africana	Materia prima que, al ser mezclada con etanol, mediante catálisis produce biodiesel.
Etanol.	US\$ 6.25 por litro Metanol industrial (US\$ 1.5 por litro)	Solvente empleado para la catálisis en el proceso de transesterificación.
Hidróxido de sodio	US\$ 2.25 por litro	Solvente empleado para el proceso de purificación en la eliminación de la glicerina.

2.3. Ubicación de la planta

La ubicación de la planta de producción de biodiesel que va a ser estudiada para realizar el rediseño está ubicada en Montecristi, Manabí. Las condiciones meteorológicas son óptimas al encontrarse en un clima tropical que permite el cultivo de la palma africana, reconocida internacionalmente debido a su gran calidad. Por lo que, los costos de transporte y manejo casi son nulos al tratarse de la misma empresa la que provee las materias primas (Líderes, 2023). Actualmente, la planta de producción es la más novedosa del país y la que más produce biodiesel; alrededor de 32000 toneladas métricas, el objetivo es producir 80000 toneladas métricas.

2.4. Limitaciones en el rediseño de la planta de biodiesel

2.4.1. Limitaciones internas

Las limitaciones internas en el proceso de rediseño de la planta de producción de biodiesel vienen dadas por el régimen de soberanía alimentaria en conjunto con la entidad que regula los procesos de producción de biocombustibles, conocida como Control de Recursos y Energía. Organizaciones que disponen en el Art. 1 de la Ley Orgánica del Régimen de Soberanía Alimentaria, la restricción de materias primas en grandes cantidades (Soberanía Alimentaria, 2019). Ya que, al tener mayor producción, se incrementa la materia prima; lo cual influye en proceso de producción por las restricciones impuestas al ser la palma africana un producto de consumo humano, el artículo mencionado se puede encontrar en la Tabla A3 en Anexos. Por lo cual, para que el proyecto estudiado se ponga en marcha, se debe pasar un proceso de revisión de la planta de producción, para que pueda ser aprobada y puesto en funcionamiento, lo cual toma de uno a tres años

2.4.2. Limitaciones externas

En cuanto a las limitaciones externas, se deben tomar en cuenta y analizar las leyes de la Agencia de Regulación y control Hidrocarburífero del país. Los cuales imponen hasta el año 2018, que la gasolina Eco-país solo podía ser mezclada en proporción 10% en volumen, lo cual es un impedimento muy grande en el estudio de factibilidad técnico del rediseño de la planta (Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero,2021). Este reglamento, se puede analizar en la Tabla A1 y A2 en la sección de Anexos. Sin embargo, con la creciente producción de biodiesel en países de la región como Colombia, Argentina y Perú, el gobierno ecuatoriano deberá aprobar leyes que impulsen la generación de proyectos encaminados a cambiar la matriz energética del país, debido al déficit petrolero y los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU.

3. SELECCIÓN DEL PROCESO DE REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE PURIFICACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL

3.1. Selección del método de rediseño

Debido al crecimiento en la producción de biocombustibles alrededor de todo el mundo, existen miles de métodos que son aplicables en cualquier tipo de materia prima para la producción de biodiesel. Por lo cual, se debe escoger el mejor método para que la optimización de la planta de biodiesel sea correcta y genere resultados positivos. Por tanto, los tres métodos que se analizaron fueron transesterificación (método actual en la planta de producción), pirólisis y micro emulsión. Al tratarse de un rediseño de una planta ya elaborada y funcional, la decisión de cambiar el método de producción resultaba completamente errónea, ya que implicaba que se tengan que cambiar algunos equipos y mover otros. Por lo tanto, se decide mantenerse con el proceso de transesterificación; rediseñando sólo tres equipos e incluyendo una sección de purificación que se va a realizar en un mismo equipo (reactor).

Los demás métodos, no serán explicados porque no fueron una condición para analizar en el proceso de rediseño. Sin embargo, la transesterificación es un proceso en donde reaccionan un triglicérido (glicerilo) con un alcohol para formar ésteres y glicerina; es decir al ser nuestra materia prima, la palma africana un aceite que contiene un grupo funcional conocido como triglicérido y el etanol que es un alcohol; reaccionan en los diferentes equipos y se producen ésteres y glicerina. Los ésteres son compuestos derivados del petróleo y la glicerina es un tipo de alcohol, el cual es necesario eliminar ya que influye en la calidad de biodiesel (Rivera, 2016). El diagrama de la planta actual está en Anexos Figura A4.

3.2. Descripción del proceso de producción de biodiesel

El proceso para la obtención del biodiesel en la planta de producción ya rediseñada se encuentra en el siguiente diagrama de bloques. Hay que aclarar que existe un tratamiento previo

a la palma africana que consta simplemente de un proceso de compresión mecánico para extraer el aceite de palma, además cada una de las materias primas utilizadas en el proceso cumplen con una función dentro de cada uno de los bloques que se asemejan a las operaciones unitarias necesarias en el proceso de producción para llegar a producir el biodiesel con las características deseadas (Medina, 2012).

Cada uno de los bloques mostrados en la Figura 1, demuestran los procesos que se tienen que seguir para la obtención del biodiesel. Hay que aclarar que, el diagrama de bloque presentado es el proceso ya rediseñado de la planta de biodiesel de la empresa ecuatoriana. Los procesos más importantes para tomar en cuenta son los evaporadores y la esterificación realizada por el reactor (Medina, 2012). Ya que, estos equipos son los que se rediseñaron en el proceso de producción actual; además del proceso de purificación del aceite con el método escogido que será explicado a continuación. Las flechas muestran el orden de cómo se deben seguir los procesos para que el producto obtenido sea el deseado, con sus respectivas bifurcaciones.

A continuación, se explicará el funcionamiento de cada uno de los equipos principales en el proceso como son los reactores y los decantadores. Los reactores son los encargados de mezclar el aceite de palma y el metanol para realizar el proceso de transesterificación. En este equipo se produce la reacción de catálisis, en donde se mezclan las grasas y los alcoholes, para separarlos mediante los separadores entre ésteres y glicerina. Por último, los decantadores mediante el proceso de extracción líquido-líquido separan los residuos que no tienen relación con los ésteres como carbono, agua y azufres procedentes de la palma africana (Rivera, 2016). El decantador es uno de los equipos fundamentales dentro del proceso, ya que la calidad del biodiesel depende de un buen proceso de decantación.

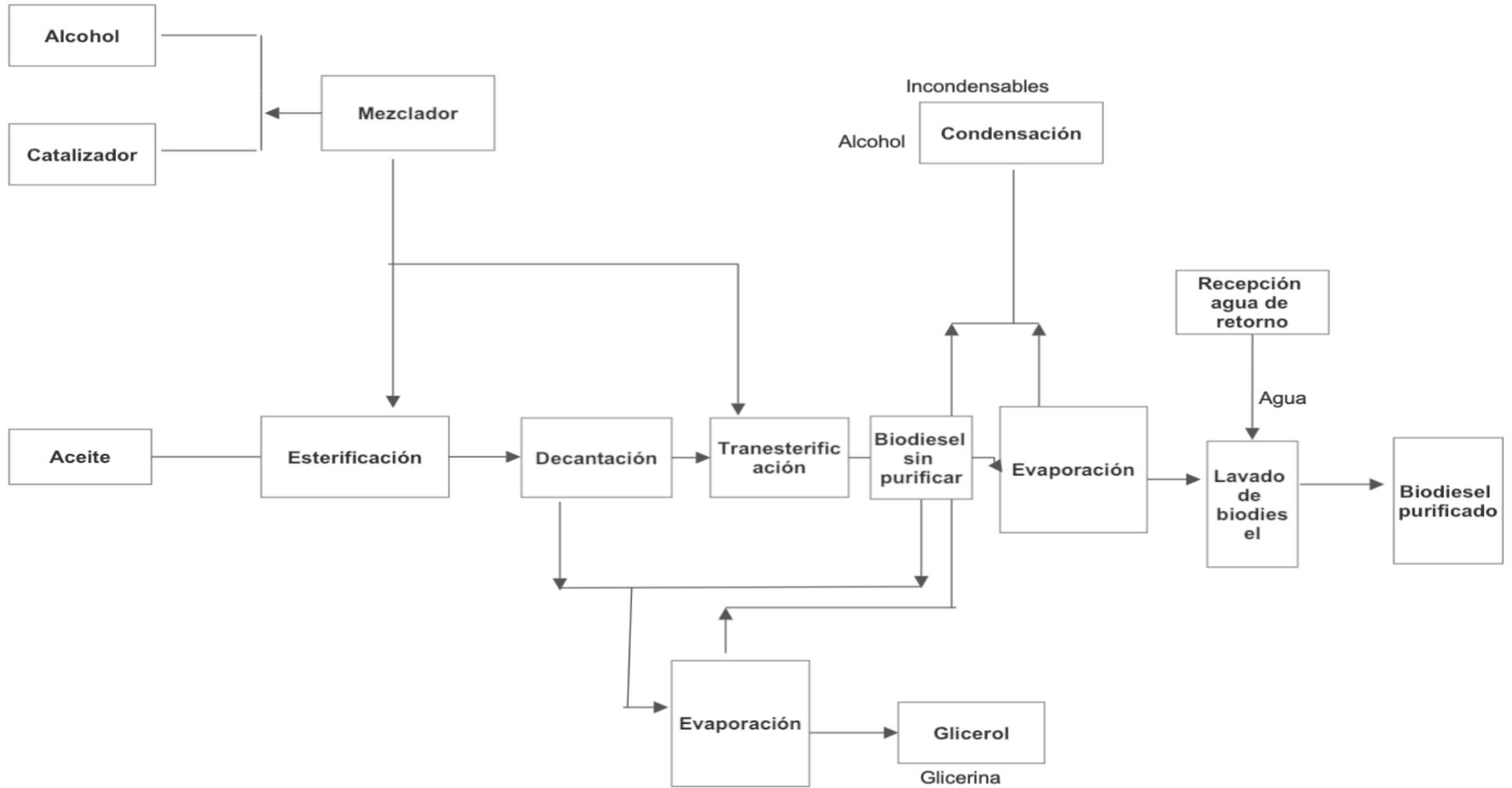


Figura 1. Diagrama de bloque del proceso de obtención de biodiesel.

A continuación, se tienen los equipos que se los categoriza como secundarios los cuales son el lavado de biodiesel que se realizan mediante tanques y los evaporadores que son encargados de la purificación seca en donde se usa al hidróxido de sodio, como solvente para la eliminación de la glicerina presente, causante de la mala calidad del biocombustible (Medrano, 2019). El proceso final que incluye como un equipo extra en el proceso de rediseño es el condensador, este equipo es el encargado, de darle una purificación extra a los residuos del producto mediante la eliminación del agua presente, así se cumple con los estándares de eliminación de efluentes de los Estados Unidos y de la Unión Europea.

3.3. Análisis y comparación de métodos de purificación

Uno de los procesos, en donde se tiene más problemas en el proceso de producción del biodiesel en la planta actual, es el proceso de purificación. Para lo cual, se pudo comprobar que existen tres métodos que han mostrado éxito en Latinoamérica en plantas de producción; los cuales son mediante lavado húmedo, lavado seco y mediante el uso de solventes (Machado, 2016). Para lo cual, se resumen cada uno de estos métodos de purificación: el lavado húmedo se realiza mediante agua saturada de CO_2 e incremento de la temperatura se elimina el glicerol presente, el lavado seco se realiza mediante incremento de velocidad del biodiesel no purificado y de temperatura en un reactor para eliminar el glicerol del biodiesel y por último mediante el uso de solventes como hidróxido de sodio y silicato de magnesio que actúan como limpiadores y eliminadores no sólo de la glicerina presente sino también del etanol restante.

Para escoger el mejor método de purificación, se realiza una tabla de ponderaciones en donde 1 es el valor mínimo y 5 el valor máximo en la escala de calificaciones; considerando la situación socioeconómica del Ecuador, por lo que se analiza la factibilidad de implementación, la rentabilidad, el cumplimiento de normas internacionales, la contaminación (emisiones de gases de efecto invernadero) y la producción (sí el biodiesel obtenido es compatible con el

rediseño propuesto) y sí se puede producir con el caudal de producción propuesto (Universidad Católica Santiago de Guayaquil, 2018).

Tabla 3. Comparación de los métodos de purificación.

Categorías	Purificación con solventes	Purificación seca	Purificación húmeda
Factibilidad de implementación	4	1	2
Rentabilidad	4	3	1
Cumplimiento normas internacionales	5	3	2
Contaminación	2	5	4
Producción	4	1	1
TOTAL	19	13	10

Por lo tanto, el método de purificación que más se acopla al rediseño elaborado es mediante purificación con solventes, el cual es el óptimo para ser implementado en los reactores, sin tener costos extras en la implementación de la sección de purificación. Además, se puede corroborar que el uso de solventes para la purificación del biodiesel es una utilidad también para no dañar los motores de combustión, una de las desventajas del uso de los biocombustibles que ha sido discutida los últimos años (Morales, 2018).

3.4. Definición de los caudales de producción en el proceso

3.4.1. Balance de masa en la producción de biodiesel

La planta de producción de biodiesel de la empresa ecuatoriana produce 32000 toneladas métricas mensuales de este biocombustible. El objetivo mediante el rediseño es producir 86000 toneladas métricas para que pueda ser mezclado en proporción 15% en volumen con diésel tradicional y satisfaga la demanda nacional, para lo cual se tiene que

considerar que por cada hectárea de palma africana recibida se tienen que producir 3000 litros de biodiesel. Teniendo en cuenta el régimen de soberanía alimentaria se necesitan alrededor de 8 toneladas de palma africana mensual y 210 litros de metanol (Rivera, 2016). Para entender el balance de masa, para cada uno de los equipos y del proceso, se coloca el diagrama de flujo en la Figura 2 para analizar las corrientes.

El balance de masa comprobado por bibliografía en una producción de un biocombustible, parte de entradas como metanol, hidróxido de sodio y los componentes del aceite (trioleína, triglicéridos, oleatos). Con ayuda del balance de masa, se obtuvo que el biodiesel (contenido de ésteres) obtenido tiene un caudal de producción de 1886,77 kg/h, lo cual, transformando el valor al mes, se obtiene 81504 toneladas métricas mensuales. Se asume, que los componentes del aceite de palma son solo la trioleína y el oleato, los demás componentes como el ácido palmítico son despreciables debido a su composición menor al 2% (Rodríguez, 2017). El balance de masa por equipo se encuentra en la sección de Anexos desde la Tabla A5 hasta la Tabla A20.

3.4.2. Balance de energía en la producción de biodiesel

El balance de energía de cada uno de los equipos se encuentra en la sección de Anexos Tabla A22, la cual fue elaborada tomando en cuenta las condiciones de presión, temperatura, caudal de cada uno de los equipos y del dimensionamiento dado por el catálogo, en donde se tienen las diferentes condiciones energéticas; dichas propiedades se encuentran en la Tabla A21. También hay que aclarar que en algunos casos como se muestra en el diagrama de flujo, se tienen tres similares equipos en el rediseño; por lo cual en la parte de energía anual se considera esta propiedad (Barreto, 2015). El consumo energético anual de la planta de biodiesel es de 821778 kW/año, no se tiene consumo de vapor.

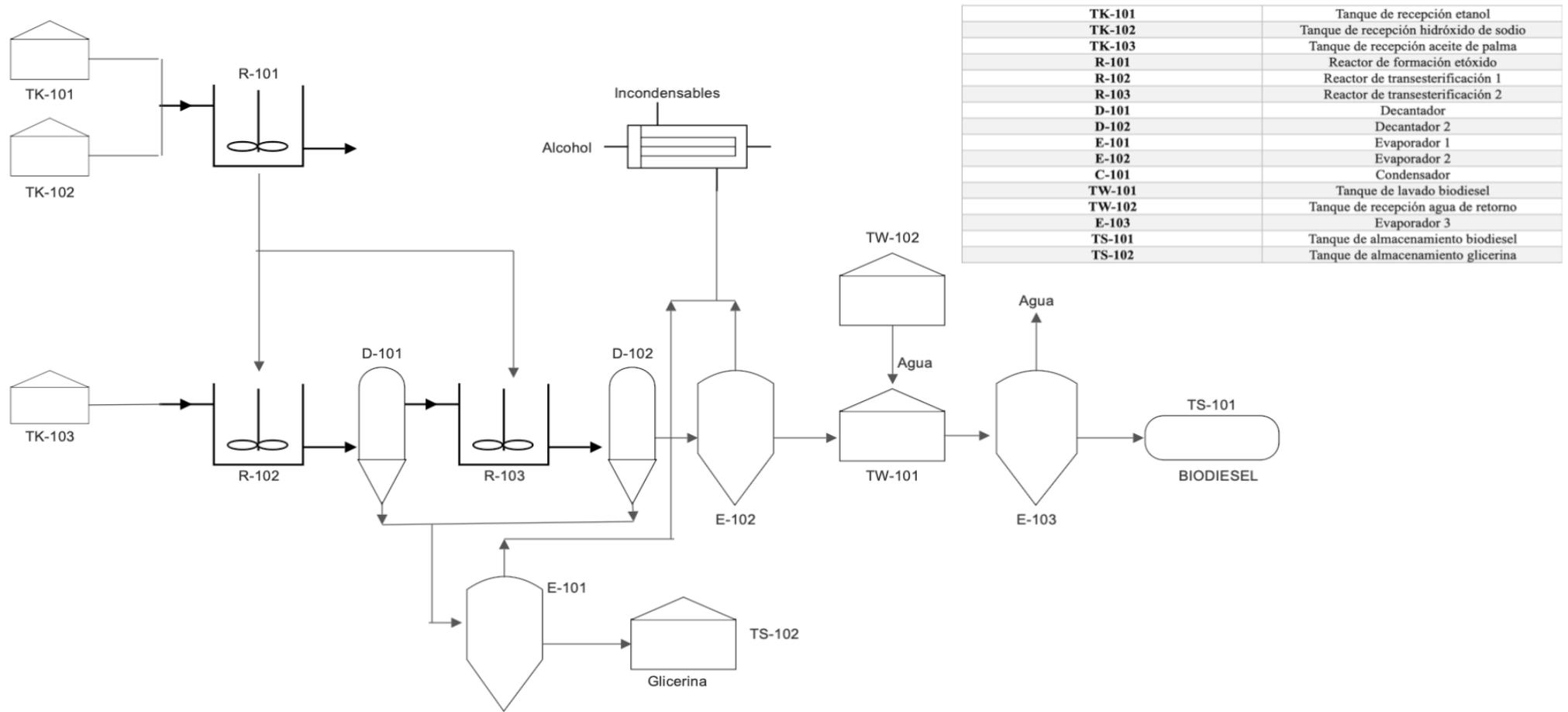


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de obtención de biodiesel.

4. DISEÑO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL MEDIANTE TRANSTERIFICACIÓN

4.1. Selección de los equipos en el rediseño

Cada uno de los equipos que han sido mostrados en el diagrama de flujo, han sido analizados dependiendo sus condiciones de operación. Por esta razón, se puede afirmar que los equipos que se encuentran dos o más veces el proceso cumplen con la misma función, por esto no es necesario seleccionar por ejemplo dos diferentes tipos de reactores o de evaporadores. Además, cada uno de ellos fue escogido dependiendo de las condiciones locales de la zona en donde se va a colocar la planta (clima tropical), y por supuesto se intentó seleccionar equipos similares a los que han mostrado éxito en la producción de biodiesel en Latinoamérica (García, 2019).

4.2. Dimensionamiento de los equipos

En la sección de Anexos D-Tabla A23, se muestran en base al tipo de equipo escogido y su adaptación a la operación propuesta, las diferentes condiciones y dimensiones de éstos. El dimensionar los equipos uno por uno, no tiene una lógica técnica, ya que en el Ecuador no se fabrican los equipos en el campo de los hidrocarburos y hacer convenios de fabricación de equipos industriales con dimensiones establecidas económicamente no es rentable. Por esta razón, el objetivo del dimensionamiento es escoger equipos que soporten un caudal similar al planteado, es decir 2800 L/h; todos los equipos listados cumplen con esta condición. El área total de producción de la planta de producción de biodiesel rediseñada será de 9360 m² (Made in China, 2023).

4.2.1. Análisis de seguridad HAZOP

Para realizar el análisis de seguridad HAZOP, se debe tomar en cuenta los equipos que más riesgos poseen en la planta de producción y las condiciones de seguridad de cada uno de los reactivos que se pueden analizar en las Figuras A5-6-7 en Anexos. Por esta razón, se analiza que el equipo que podría causar accidentes de gravedad y que el riesgo de peligro es muy alto es el reactor de transesterificación; por lo tanto, se realiza un análisis de la variable de presión, temperatura, composiciones del aceite de palma y metanol y las consecuencias que podría tener si éstas aumentan o disminuyen en el proceso de la separación de los ésteres y de la glicerina. Además, se propondrán medidas correctoras para mitigar el riesgo (Guerra, 2014). La Tabla del análisis HAZOP, se encuentra en la sección de Anexos- Tabla A24.

4.2.2. Diagrama de control del reactor

Para tener un análisis más detallado sobre el funcionamiento de cada uno de los equipos en el proceso de producción, se realiza el diagrama de control del reactor de transesterificación para conocer cómo se comportan los parámetros de temperatura en el proceso. Hay que aclarar que se tienen dos reactores en el diagrama de flujo, por lo cual en los dos equipos sucederá el mismo proceso de control. En la Figura 3, se puede ver en los círculos de la imagen, los lugares por dónde se tendrá que colocar un equipo de control para analizar cuándo la temperatura del reactor de transesterificación aumenta o disminuye para conocer cuándo se debe tomar acciones si el proceso no se comporta con las condiciones normales. Las líneas entrecortadas verdes significan las líneas de control y las siglas mostradas son: TV-temperatura de la válvula, PT- presión tubería, TT- temperatura transmisor, TY.TIC- control temperatura salida (DiQuima, 2018). El diagrama de control para los dos reactores de transesterificación es el siguiente.

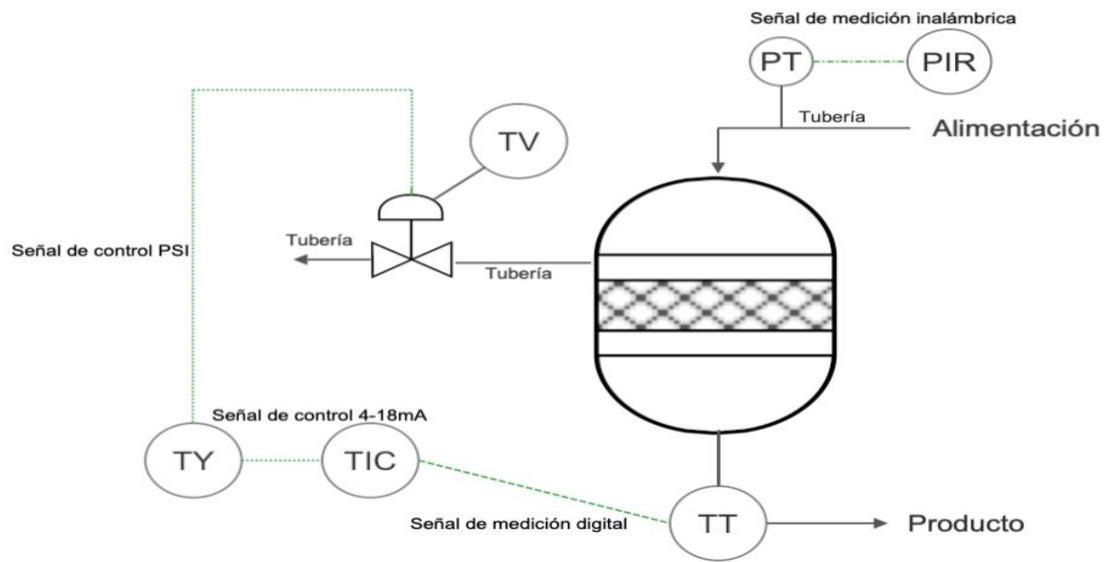


Figura 3. Diagrama del control del reactor de transesterificación.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1. Estimación de egresos del Proyecto

En esta sección, se analizarán los resultados para la estimación de los costos de la planta de producción de biodiesel, mediante varios factores como Lang, Hand y factorial detallado. Se mostrarán también los datos más importantes en cuanto a los costos OSBL, ISBL, factores como el TIR y el VAN; con esto se analizarán los datos preliminares y se verán cómo éstos nos dan conclusiones sobre cómo afecta el rediseño en la rentabilidad de la planta de producción de biodiesel.

5.1.1. Estimación de los costos de los equipos

Para analizar el costo de los equipos es necesario calcular y obtener factores de Lang, Hand y factorial detallado, en los cuales se colocarán los costos de los equipos con parámetros de cantidad, capacidad, unidad y el factor de material. Los costos de los equipos por el catálogo están en la sección F de Anexos (Made in China, 2023). Cada uno de estos factores tienen fórmulas para su obtención. Las Tablas del resumen de la obtención de cada uno se encuentra en la sección de Anexo G sección 8.7 y Tabla A28. Podemos analizar que el factor con valor mayor es el factor de Lang y el factor con menor resultado es el factorial detallado, esto se debe a que en el último los valores que son multiplicados por el costo del equipo son mucho más específicos dependiendo del tipo de fluido que usemos en cada uno de nuestros equipos. Por lo tanto, los costos ISBL, OSBL, Ingeniería e imprevistos se toman en cuenta dependiendo del factorial detallado, los costos de los equipos según el método explicado es de \$1.057.166,36.

5.1.2. Estimación de los costos de producción

Los costos de producción de la planta de biodiesel, según bibliografía consultada se derivan en los costos de materia prima, los costos de labor de operación que se dividió en cuatro

turnos con un personal de 50 empleados (Towler, G & Sinnott, R., 2008). Además, se considera los costos de la energía eléctrica, la coordinación y supervisión, los impuestos, los gastos imprevistos y los permisos ambientales; por último, se tiene que el costo total de producción es de \$9.873.810,11. Un valor muy similar a plantas de biodiesel en Latinoamérica, con el mismo caudal de producción, hay que tomar en cuenta que, en el caso de las materias primas, se considera el consumo en kilogramos y el costo anual de la materia prima. Además, se dividen los costos fijos y variables, dependiendo del costo de producción analizado, por consecuencia en este estudio de evaluación económica, se considera a las materias primas y a la energía como los costos variables y los costos fijos los demás parámetros explicados. Estos cálculos se encuentran en la sección de Anexos Tabla A30-31-32-33-34

5.1.3. Cálculo de la estimación del capital de trabajo e inversión del capital fijo

Para realizar el cálculo de la estimación del capital de trabajo, hay que considerar la suma de los productos, las materias primas, la liquidez, la obtención de créditos y los repuestos (Towler, G & Sinnott, R., 2008). Cada uno de estos parámetros, tienen relación con el capital fijo de inversión y el capital total de trabajo mencionado anteriormente. Se consideró, para el cálculo de este parámetro cuatro semanas de consumo de las materias primas, costos de producción de cuatro semanas, en la liquidez el costo de una semana. Además, en la obtención de créditos se calcula cómo si la materia prima adquirida no se paga inmediatamente sino en ocho semanas. El total del costo de capital de trabajo es de \$685.155,76.

Por otro lado, la inversión de capital fijo se obtiene mediante el uso del factorial detallado mencionado en la sección 5.1.1. Este valor también corresponde al ISBL de la planta (inversión dentro de los límites internos de la planta), con este valor se obtienen resultados del OSBL (costos de inversión fuera de los límites de batería), los costos de ingeniería y los imprevistos que corresponden al 7 y 10% respectivamente (Towler, G & Sinnott, R., 2008). La

inversión de capital fijo es simplemente la suma de todos los parámetros mencionados, que nos da un valor de \$1.469.461,24; dato muy coherente si se analiza el mercado de biocombustibles en Ecuador. Los cálculos de esta sección se encuentran en Anexos Tabla A35-36.

5.2. Cálculo de la rentabilidad del proyecto

5.2.1. Flujo de caja del proyecto

El flujo de caja del proyecto se obtuvo mediante el cálculo de los costos anuales desde el año cero hasta el décimo año de vida del proyecto (Towler, G & Sinnott, R., 2008). Como se trata de un rediseño, se toma en cuenta que a partir del 3er año del proceso de optimización se generarán ganancias. Es decir, los costos se obtienen mediante el capital fijo de inversión y los ingresos netos mediante los ingresos brutos que son el precio de venta del biodiesel que se estimó en \$1,34 el kilogramo (Campos et al., 2013), según la normativa Latinoamericana.

Por consiguiente, el ingreso neto es el valor del ingreso bruto menos los impuestos del 12% (impuesto valor agregado) y el flujo de caja finalmente son los ingresos menos los costos. Hay que considerar que se estima una producción al 100% del biodiesel con el precio establecido anteriormente, en la siguiente figura podemos notar el flujo de caja, en donde se llega a tener utilidad a partir del tercer año con el proceso de optimización. Los cálculos de esta sección se encuentran explicados y analizados en la sección de Anexos, Tabla A37-38-39-40. En la Figura 4, se puede ver la gráfica del Flujo de caja del Proyecto, el cual es negativos los dos primeros años, pero a partir del tercero se comienza a generar ganancias. Es lógico que en solo dos años se genere utilidad, ya que, se realizó un estudio de factibilidad económica de un rediseño de una planta y no de una planta desde cero; lo cual influye totalmente en el resultado obtenido.

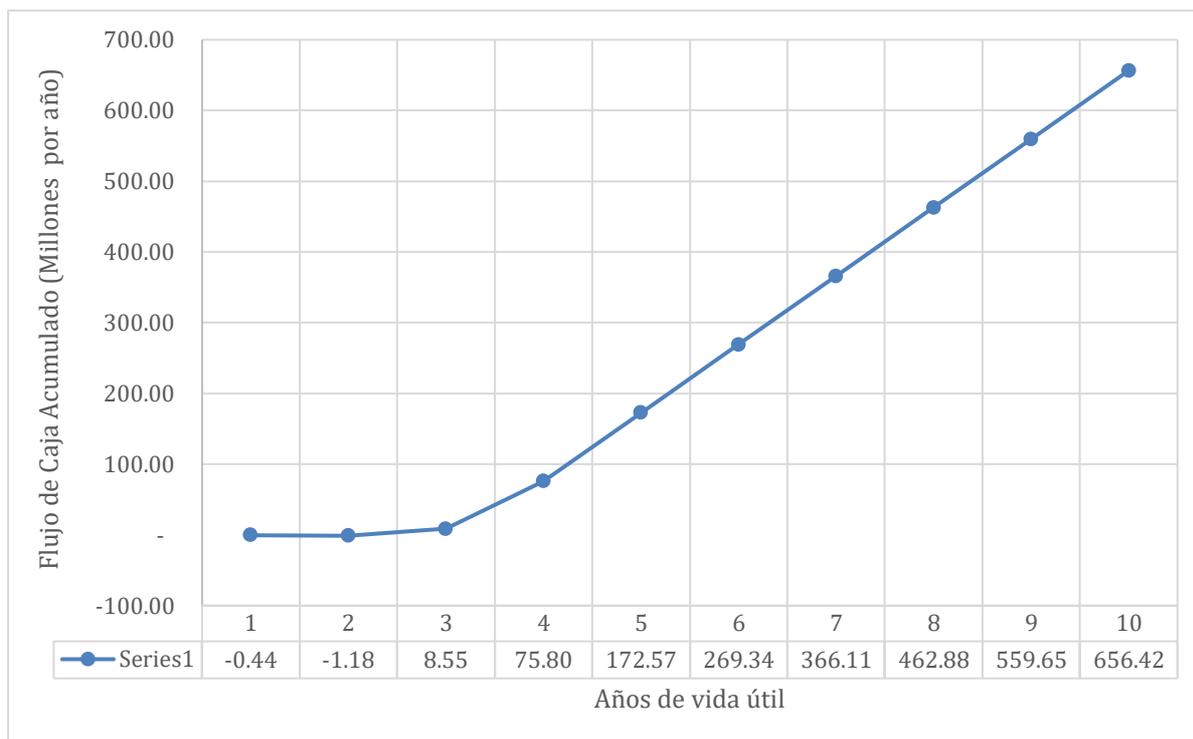


Figura 4. Flujo de Caja del Proyecto.

5.2.2. Vida útil del proyecto

Para la realización del análisis económico, se toma en cuenta diez años de vida útil de la planta de biodiesel optimizada. Sin embargo, las plantas de producción de biocombustibles a partir de palma africana tienen una vida útil de quince años y hasta dicho año los equipos tienen una eficiencia del 70%, lo cual es permitido por regulaciones nacionales e internacionales. Hay que tomar en cuenta que también, al realizar el rediseño, la planta tiene ya siete años de funcionamiento y los valores económicos obtenidos tienen relación con este parámetro; por lo que la vida útil si se realiza la optimización será de ocho años (Rivera, 2016).

5.2.3. Tiempo de la recuperación de la inversión

El tiempo de recuperación de la inversión, se lo calcula ocupando el método MACRS, en donde se considera el beneficio bruto, las cargas de depreciación, los ingresos gravables, los impuestos pagados, el flujo de caja y el flujo de caja acumulativo; parámetros que fueron

explicados anteriormente (Towler, G & Sinnott, R., 2008). Por lo tanto, se realiza una figura que nos muestre el año en donde se recupera la inversión en función del flujo de caja acumulativo. Podemos notar que, la inversión en el proceso de rediseño se recuperará en el tercer año de funcionamiento de la planta de biodiesel ya optimizada.

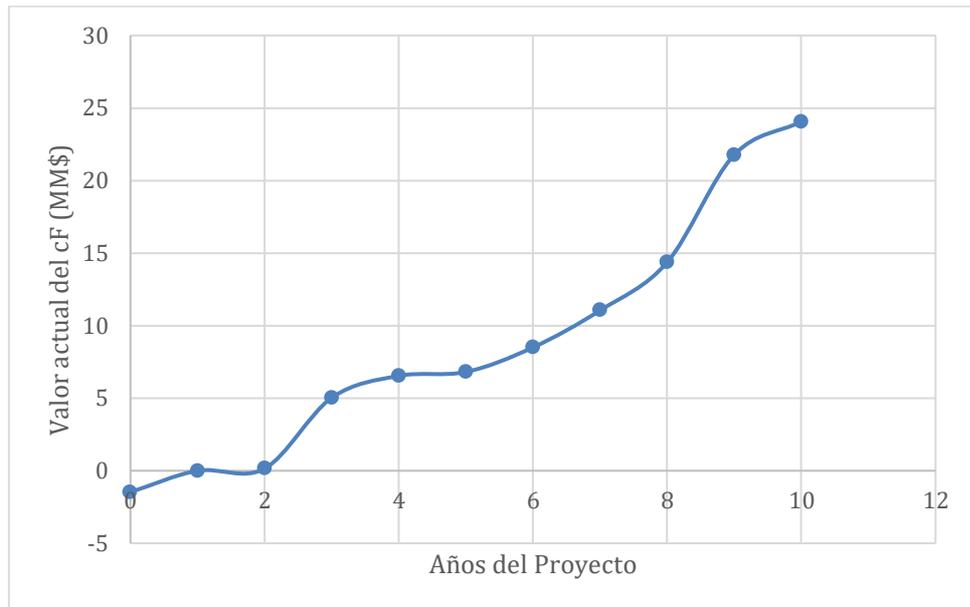


Figura 5. Tiempo de recuperación de la inversión por el método MACRS.

5.2.4. Cálculo de los indicadores de rentabilidad TIR y VAN

Para calcular los indicadores de rentabilidad del VAN (valor actual neto) y TIR (tasa interna de retorno), se realiza la Tabla A41-42 que se encuentran en Anexos con los parámetros descritos en la sección 5.2.3, mismos que son necesarios para tener un análisis completo del valor actual neto, el cual debe ser positivo para concluir que el proyecto tendrá una rentabilidad a futuro (Towler, G & Sinnott, R., 2008). En nuestro caso, el valor del VAN obtenido es de 25,25. Por otro lado, el TIR que nos demuestra la tasa interna retorno, es decir la tasa de rentabilidad; en el caso del proyecto el valor del TIR es de 0,66.

6. CONCLUSIONES

El estudio de factibilidad técnico-económico trato sobre el rediseño de una planta de biodiesel de una empresa ecuatoriana, con el objetivo de mejorar la calidad del producto, generar un caudal de producción mayor, tener estándares de la Unión Europea y Estados Unidos y, por último, lograr que sea mezclado en una proporción 15% en volumen con diésel para que sea distribuido en las gasolineras del país. Para lo cual, se aplicó conceptos ingenieriles sobre balances de masa, de energía y selección conjunto con el dimensionamiento de los equipos, que han sido comprobados por la bibliografía que han mostrado eficacia y eficiencia en plantas de biodiesel en Latinoamérica. Por último, se realiza el análisis de rentabilidad del proyecto mediante todos los parámetros establecidos y se concluye que es un proyecto además de eficaz, rentable en cuánto las políticas ecuatorianas lo permitan.

Se seleccionó el proceso de rediseño mediante transesterificación, el cual demostró ser eficaz en cuanto a la materia prima usada (palma africana). Además, este tipo de proceso ayudó para que se pueda obtener un caudal de mayor producción y que el biodiesel obtenido tenga un porcentaje mayor del 96.5% de ésteres, lo cual es un parámetro solicitado para que el producto pueda ser mezclado en mayor proporción con diésel y no cause afectaciones en el motor de combustión. Por consiguiente, el biodiesel puede ser exportado a Estados Unidos y a la Unión Europea sin ningún problema porque cumple con los estándares requeridos.

En la incorporación de la sección de purificación, se puede concluir que el método seleccionado (purificación con uso de solventes) fue el indicado, ya que no afectó al caudal de producción establecido y se acopló correctamente al rediseño. La purificación se la colocó en el mismo reactor de transesterificación, por lo cual no fue necesario incluir un equipo extra. Por último, la purificación empleada logró que la cantidad de residuos sólidos en el

biocombustible obtenido sea mucho menor y por ende la glicerina como residuo principal y limitante en la calidad del biodiesel, pueda ser eliminada correctamente.

Por otro lado, el estudio de factibilidad económica nos mostró mediante el uso de varios parámetros como los ingresos netos, el capital fijo de inversión, los costos de capital de trabajo y demás factores que el proyecto es rentable; en cuanto la materia prima se mantenga en un precio constante como lo ha estado en los últimos tres años. Ya que, se ha visto en países de la región, que la palma africana llega a valores elevados y la industria de biocombustibles tiene muchos problemas con el déficit de la palma africana. Podemos notar, sin embargo, que en el estudio de factibilidad económico nos muestra que se comenzará a generar una utilidad a partir del tercer año de la optimización de la planta y la recuperación de la inversión la obtendremos en el tercer año igualmente.

Se puede proponer un análisis de flexibilidad si se desea recuperar la inversión en menos tiempo o generar utilidad a partir del segundo año, mediante la venta del producto secundario generado en la producción de biodiesel, la glicerina. Es un producto muy usado en otras industrias como en la cosmética, que es uno de los productos primarios en la producción de humectantes, lubricantes oculares y cosméticos en general. Por lo que, si se propone vender la glicerina en el mercado ecuatoriano, las ganancias generadas serán mucho mayores y por consiguiente se creará una economía circular que genere éxito en las dos industrias.

En conclusión, el rediseñar una planta de producción de biodiesel con métodos novedosos que han mostrado éxito en Latinoamérica es muy provechoso para la industria de biocombustibles en el Ecuador. Además, como ingenieros químicos se debe estar en constante investigación sobre métodos que optimicen los procesos industriales del país, que sean cuidadosos con el medio ambiente. Y así, generar una mejor sociedad y sector productivo, para que en el año 2030 se puedan cumplir con los objetivos de Desarrollo planteados por la ONU.

7. REFERENCIAS

- Álvarez, S. (2020). *El combustible del futuro*. Universidad de Buenos Aires. Obtenido de: http://repositorioubi.sisbi.uba.ar/gsd/collect/encruce/index/assoc/HWA_280.dir/280.PDF
- Asociación de Biocombustibles del Ecuador. (2021). *Análisis del biodiesel en el Ecuador*. Obtenido de <https://www.apale.org>
- Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero. (2021). *Normativa Hidrocarburífera del Ecuador*. Obtenido de <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYTU3NzE2NTktZTFmMi00NTE0LTk0MTQtMGZlNWUwODNkY2Q5IiwidCI6IjY2OTJiN2UwLTRhNjMtNDRmYi1iOWJiLTBkNmJmNTRhMzFIYiIsImMiOiR9>
- Barreto, S. (2015). *Ingeniería básica de una planta de producción de 2700 t/día de biodiesel usando un catalizador en base azúcar*. Obtenido de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/40038/Alonso%20Barreto%2C%20Santiago.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Benavides, I., Mafla, C., Hernández, E., & Ramírez, F. (2018). *Caracterización y análisis comparativo de biodiesel respecto al diésel comercial de alta calidad*. Obtenido de <https://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/580>
- Castro, M. (2016). *Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador*. Centro Ecuatoriano de Derecho Ambiental. Obtenido de <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00344.pdf>
- Campos, L., Sánchez, A., Benítez, A., & Benítez, I. (2013). *Estudio técnico-económico de dos tecnologías de producción de biodiesel a partir de aceite de soya empleando el simulador superpro designer*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/3442/344263272007/html/>
- DiQuima. (2018). *Sistemas de control de reactores*. Obtenido de http://www.diquima.upm.es/old_diquima/docencia/control_procesos/docs/Tema6_reactores_al.pdf

- García, E. (2019). *Planta de Biodiesel a partir de aceites vegetales*. Obtenido de http://www.premioconama.org/conama9/download/files/CTs/659742_EGarc%EDa.pdf
- Guerra, C. (2014). *Modelado de un reactor catalítico heterogéneo para la producción de biodiesel a partir de aceite reciclado*. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/13133/TFG-I-187.pdf;jsessionid=058445F7171391880FB5CF8FF3938B5A?sequence=1>
- Líderes. (2023). *La Fabril llena más tanques con biodiesel*. Revista Líderes. Obtenido de <https://www.revistalideres.ec/lideres/fabril-llena-tanques-biodiesel.html>
- Ministerio de Producción del Ecuador. (2017). *Informe sobre el sector palmicultor del Ecuador*. Obtenido de <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/informe-palma-español-.pdf>
- Medina, L. (2012). *Biodiesel, un combustible renovable*. Obtenido de <https://investigacion.uaa.mx/RevistaIyC/archivo/revista55/Articulo%208.pdf>
- Medrano, X. (2019). *Optimización del proceso de obtención de biodiesel en Ecuador*. Obtenido de Revista Perspectivas. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/638/6383202004/html/>
- Machado, M. (2016). *Metodología de purificación de biodiesel en la planta experimental RECOPE, utilizando resinas de intercambio iónico*. Obtenido de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3536/1/40499.pdf>
- Morales, J. (2018). *Estado de situación de los biocombustibles en Ecuador*. UASB. Obtenido de <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/2737/1/T0873-MRI-Morales-Industria%20biocombustibles.pdf>
- Made in China. (2023). *Venta de equipos industriales*. Obtenido de https://es.made-in-china.com/?acc=4006278966&cpn=18253853444-140127745679&tgt=kwd-20370971&net=g&dev=c-&gid=Cj0KCQjwu-KiBhCsARIsAPztUF2fe7F29icAXj7ETJMz5mmIrZpSp9tisL0n5vVXFvL40wCrSiOISBgaAjfoEALw_wcB&kwd=made%20in%20china&mtp=b&gclid=Cj0KCQjwu-KiBhCsARIsAPztUF2fe7F29icAXj7ETJMz5mmIrZpSp9tisL0n5vVXFvL40wCrSiOISBgaAjfoEALw_wcB

- Soberanía Alimentaria del Gobierno Nacional del Ecuador. (2019). *Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria*. <https://www.soberaniaalimentaria.gob.ec/pacha/wp-content/uploads/2011/04/LORSA.pdf>
- Rivera, S. (2016). *Diseño y Construcción de una planta de biodiesel derivado de aceites reciclados de uso doméstico*. Obtenido de <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00003478.pdf>
- Rodríguez, A. (2017). *Producción científica mundial sobre biodiesel*. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/aci/v18n5/aci041108.pdf>
- Torroba, A. (2020). *Atlas de los Biocombustibles Líquidos 2020-2021*. Obtenido de <https://repositorio.iica.int/handle/11324/18661>
- Towler, G., & Sinnott, R. (2008). *Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*. Obtenido de <http://himatekkim.ulm.ac.id/id/wp-content/uploads/2021/06/Towler-G.-Sinnott-R-Chemical-Engineering-Design-Principles-Practice-and-Economics-of-Plant-and-Process-Design.pdf>
- Universidad de Palermo. (2014). *Biodiesel: biocarburo líquido*. Obtenido de https://www.palermo.edu/economicas/pdf_economicas/Presentacion_biocom_Steinberg.pdf
- Universidad Católica Santiago de Guayaquil. (2018). *Análisis del uso de biocombustibles en Ecuador*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10407>
- Zambrano, J. (2020). *Análisis e impactos de la actual producción de biocombustibles en Ecuador*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/14501/1/T-UCSG-PRE-ECO-CECO-303.pdf>

8. ANEXOS

8.1. ANEXO A. Estadísticas del uso de biodiesel en el mundo y en Ecuador.

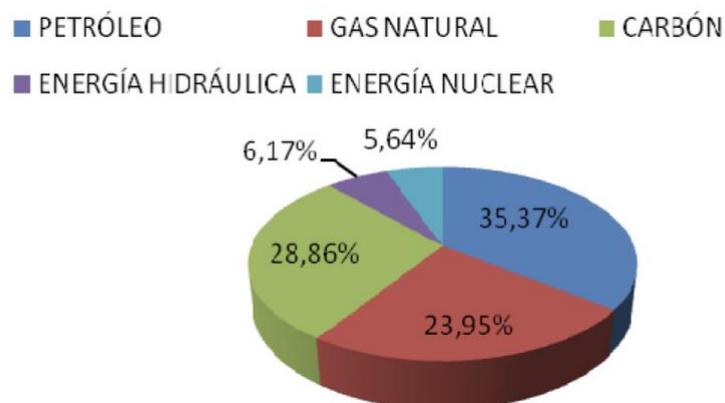


Figura A 1. Matriz energética mundial

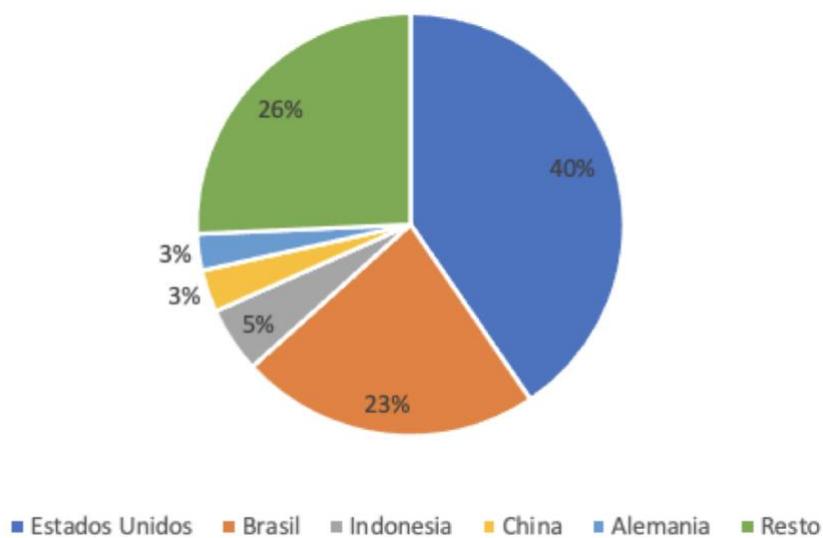


Figura A 2. Mayores productores de biodiesel mundial.

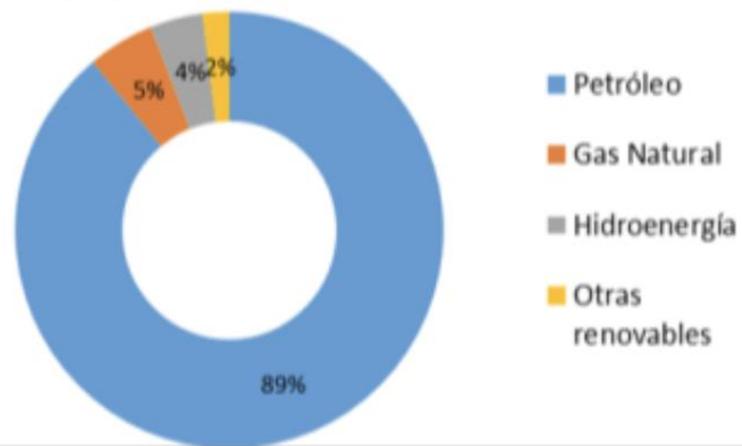
Oferta de energía por fuentes en el Ecuador (Base 2014)

Figura A 3. Matriz energética en el Ecuador

8.2. ANEXO B. Limitaciones, reglamentos y códigos gubernamentales.

En la siguiente Tabla A1, se puede analizar las diferentes propiedades que debe tener el biodiesel producido para que pueda ser mezclado en un 15% con diésel sin que cause ningún problema en los motores de combustión. La mayoría de éstos no son tan específicos, ya que hoy en día Latinoamérica aún no tienen biodiesel de máxima calidad.

Tabla A 1. Normas INEN sobre calidad de biodiesel.

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
Φ Contenido de agua y sedimento	%	-	0,05	NTE INEN 1494
W Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0,15	NTE INEN 1491
W contenido de cenizas	%	-	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	2,0	5,0	NTE INEN 810
W contenido de azufre	%	-	0,7	ASTM D4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	-	No.3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Contenido de biodiésel, $\Phi_{\text{Biodiésel}}$	%	---	5	EN 14078
NOTA: De no contener biodiesel, no es necesario la realización de este ensayo.				

En la Tabla A2, se puede analizar a profundidad todas las leyes y reglamentos que tiene el biodiesel, como lo es el reglamento para la autorización de actividades de combustibles líquidos. Además, cada una de ellas es regida por la Agencia de Regulación y control Hidrocarburífero, el cual debe proveer una aprobación para que cualquier proyecto como el presentado sea aprobado.

Tabla A 2. Limitaciones del Régimen de Control Hidrocarburífero.

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 810	<i>Productos de petróleo. Determinación de la viscosidad cinemática y dinámica en líquidos transparentes y opacos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 926	<i>Productos de petróleo. Ensayos de destilación.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 927	<i>Productos de petróleo. Determinación de la corrosión sobre la lámina de cobre.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 930	<i>Petróleo crudo y sus derivados. Muestreo.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1490	<i>Productos derivados del petróleo. Determinación del contenido de azufre. Método de la bomba</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1491	<i>Productos de petróleo. Determinación del residuo de carbón Conradson.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1492	<i>Productos de petróleo. Determinación de cenizas.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1493	<i>Productos de petróleo. Determinación del punto de inflamación en vaso cerrado (Pensky-Martens)</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1494	<i>Productos de petróleo. Determinación de agua y sedimento por centrifugación.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1495	<i>Productos de petróleo. Determinación del índice de cetano calculado.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2266	<i>Transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos. Requisitos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2336	<i>Productos derivados del petróleo. Procedimiento para la inspección de calidad de los derivados del petróleo.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2341	<i>Derivados del petróleo. Productos relacionados con el petróleo y afines. Definiciones.</i>
Norma Americana ASTM 4294	<i>Method for Sulfur in Petroleum and Petroleum Products by Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry.</i>
Norma Europea UNE EN 14078	<i>Productos petrolíferos líquidos. Determinación del contenido en ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) de destilados medios. Método por espectroscopía infrarroja.</i>
Ley 2007-76	<i>Sistema Ecuatoriano de la Calidad. Registro Oficial No. 26 del 22 febrero de 2007.</i>
Acuerdo Ministerial No. 184	<i>Reglamento de Seguridad y Operación para el transporte de combustibles en el Ecuador. Registro Oficial No. 135 del 24 de febrero de 1999.</i>
Decreto Ejecutivo 2024	<i>Reglamento para autorización de actividades de comercialización de combustibles líquidos derivados de petróleo. Registro Oficial Suplemento No. 445 del 1 de noviembre de 2001.</i>
Decreto Ejecutivo 407	<i>Comercialización y distribución de combustibles líquidos derivados de hidrocarburos y gas licuado de petróleo. Registro Oficial No. 90 del 26 de agosto del 2005.</i>
Acuerdo Ministerial 389	<i>Reglamento Sustitutivo al Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (RAOHE, Decreto Ejecutivo 1215) y sus modificatorias posteriores. Registro Oficial No. 671 del 26 de septiembre de 2002.</i>
Decreto Ejecutivo 3516	<i>Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) del Ministerio del Ambiente. Registro Oficial E 2 del 30 de marzo de 2003.</i>

En la Tabla A3, se puede ver la Ley Orgánica para la protección de alimentos como lo es el aceite que proviene de la palma africana para el consumo humano. Es necesario afirmar que esta ley es una limitante para la producción de biodiesel, ya que con el rediseño se necesitará una mayor cantidad de materia prima (palma africana) que la actual.

Tabla A 3. Ley Orgánica de la Soberanía Alimentaria.

LEY ORGÁNICA DEL RÉGIMEN DE LA SOBERANÍA ALIMENTARIA

TÍTULO I

PRINCIPIOS GENERALES

Artículo 1. Finalidad.- Esta Ley tiene por objeto establecer los mecanismos mediante los cuales el Estado cumpla con su obligación y objetivo estratégico de garantizar a las personas, comunidades y pueblos la autosuficiencia de alimentos sanos, nutritivos y culturalmente apropiados de forma permanente.

El régimen de la soberanía alimentaria se constituye por el conjunto de normas conexas, destinadas a establecer en forma soberana las políticas públicas agroalimentarias para fomentar la producción suficiente y la adecuada conservación, intercambio, transformación, comercialización y consumo de alimentos sanos, nutritivos, preferentemente provenientes de la pequeña, la micro, pequeña y mediana producción campesina, de las organizaciones económicas populares y de la pesca artesanal así como microempresa y artesanía; respetando y protegiendo la agrobiodiversidad, los conocimientos y formas de producción tradicionales y ancestrales, bajo los principios de equidad, solidaridad, inclusión, sustentabilidad social y ambiental.

El Estado a través de los niveles de gobierno nacional y subnacionales implementará las políticas públicas referentes al régimen de soberanía alimentaria en función del Sistema Nacional de Competencias establecidas en la Constitución de la República y la Ley.

En la Tabla A4, se puede analizar los estándares que solicita la Unión Europea y los Estados Unidos para la calidad de biodiesel. Uno de los puntos más importantes es la cantidad de ésteres y el glicerol total, los dos puntos son cumplidos mediante el rediseño. Con lo cual el producto se podría exportar sin ningún problema.

Tabla A 4. Estándares de biodiesel en los E.E.U.U Y U.E

Characteristic with unit		U.S.	EU
Ester content	mass%	-	>96.5
Density at 15°C	kg m ⁻³	-	0.86-09
Kinematic viscosity	mm ² s ⁻¹	1.9-6.0	3.5-5.0
Flash point	-	> 100	>120
Sulfur content	mg kg ⁻¹	≤0.05	≤0.001
T95	-	<360 (90%)	-
Ramsbottom carbon residue (100%)	mass%	≤0.05	-
Cetane number		>40	>51
Sulfated ash	mass%	≤0.02	<0.02
Water content	mg kg ⁻¹	<0.05	<500
Total contamination	mg kg ⁻¹	-	<24
Copper corrosion		≤No. 3	Class-1
Total acid number	mg KOH g ⁻¹	<0.8	<0.5
Oxidation stability	hr.	<3	<6
Iodine number		-	<120
Ester content	mass%	-	>96.5
Methanol	mass%		
Free glycerol	mass%	≤0.02	
Total glycerol	mass%	≤0.24	

(Source: webpage of the Society of India Automobile Manufactures (SIAM), New Delhi)

8.3. ANEXO C. Diagramas de flujo planta de biodiesel actual y balances de masa y energía.

El diagrama de flujo de la Figura A4 de la planta de producción de biodiesel de la empresa ecuatoriana es el siguiente, se puede ver que existen la misma cantidad de equipos; sin embargo, no es necesario una cantidad elevada de reactores y no se tienen decantadores ni evaporadores, equipos que son necesarios para una correcta purificación del biodiesel.

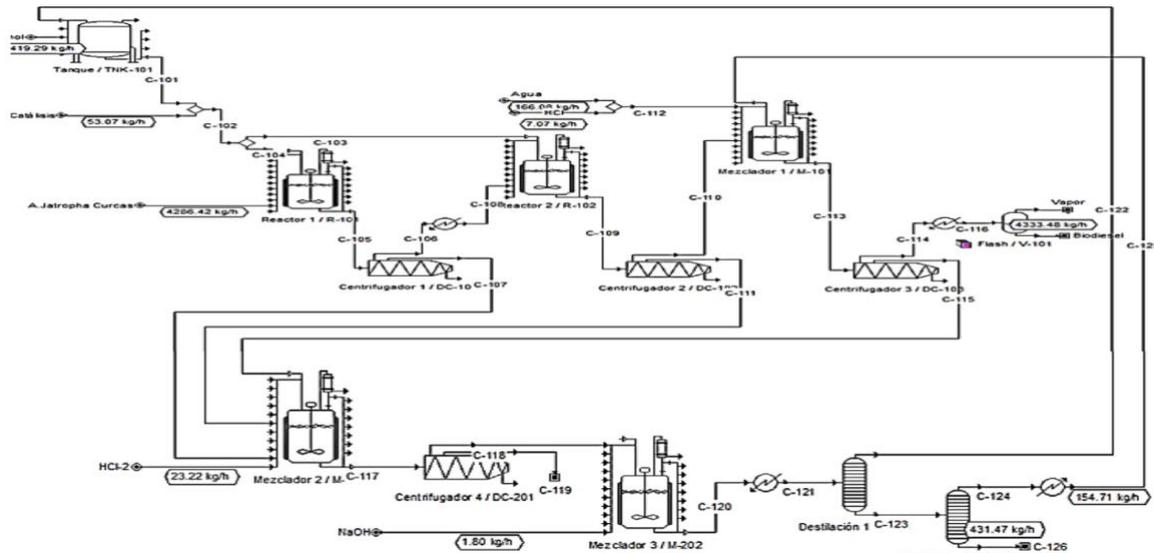


Figura A 4. Diagrama de Flujo Planta actual

A continuación, en las Tablas A5 hasta la A20 se presenta los balances de masa en cada uno de los equipos involucrados en el proceso de producción, incluyendo los elementos en cada uno de ellos y su caudal másico. Hay que aclarar que el caudal de producción del aceite de palma es de $1849.96 \frac{kg}{h}$, con este valor se logra producir las 81000 toneladas métricas de biodiesel propuestas en el proyecto.

Tabla A 5. Balance de masa equipo TK-101

Unidad	kg/h
Corriente	TK-101
Total	1856,96
Hidróxido de sodio	1,89
Aceite de palma	1849,96
Biodiesel	-
Etanol	-
Glicerol	-
Residuos sólidos- Agua	4,55

Tabla A 6. Balance de masa equipo TK-102

Unidad	kg/h
Corriente	TK-102
Total	1849,96
Hidróxido de sodio	0,95
Aceite de palma	1849,96
Biodiesel	-
Etanol	-
Glicerol	-
Residuos sólidos- Agua	4,55

Tabla A 7. Balance de masa equipo TK-103

Unidad	kg/h
Corriente	TK-103
Total	5,5
Hidróxido de sodio	0,95
Aceite de palma	-
Biodiesel	-
Etanol	-
Glicerol	-
Residuos sólidos- Agua	4,55

Tabla A 8. Balance de masa equipo R-101

Unidad	kg/h
Corriente	R-101
Total	1927,01
Hidróxido de sodio	0,09
Aceite de palma	1901,42
Biodiesel	25,5
Etanol	-
Glicerol	-
Residuos sólidos- Agua	-

Tabla A 9. Balance de masa equipo R-102

Unidad	kg/h
Corriente	R-102
Total	773,96
Hidróxido de sodio	7,89
Aceite de palma	
Biodiesel	15,5
Etanol	720,25
Glicerol	0,33
Residuos sólidos- Agua	-

Tabla A 10. Balance de masa equipo D-101

Unidad	kg/h
Corriente	D-101
Total	2670,57
Hidróxido de sodio	8,19
Aceite de palma	59,34
Biodiesel	1902,85
Etanol	532,92
Glicerol	169,31
Residuos sólidos- Agua	-

Tabla A 11. Balance de masa equipo R-103

Unidad	kg/h
Corriente	R-103
Total	488,5
Hidróxido de sodio	-
Aceite de palma	-
Biodiesel	-
Etanol	319,16
Glicerol	169,32
Residuos sólidos- Agua	-

Tabla A 12. Balance de masa equipo D-102

Unidad	kg/h
Corriente	D-102
Total	169,98
Hidróxido de sodio	-
Aceite de palma	-
Biodiesel	-
Etanol	0,64
Glicerol	169,34
Residuos sólidos- Agua	-

Tabla A 13. Balance de masa equipo E-101

Unidad	kg/h
Corriente	E-101
Total	315,67
Hidróxido de sodio	-
Aceite de palma	-
Biodiesel	-
Etanol	315,34
Glicerol	0,33
Residuos sólidos- Agua	-

Tabla A 14. Balance de masa equipo E-102

Unidad	kg/h
Corriente	E-102
Total	2182,1
Hidróxido de sodio	8,18
Aceite de palma	58,31
Biodiesel	1902,85
Etanol	212,77
Glicerol	-
Residuos sólidos- Agua	-

Tabla A 15. Balance de masa equipo E-103

Unidad	kg/h
Corriente	E-103
Total	1950,29
Hidróxido de sodio	0,31
Aceite de palma	58,22
Biodiesel	1889,57
Etanol	2,18
Glicerol	-
Residuos sólidos- Agua	-

Tabla A 16. Balance de masa equipo C-101

Unidad	kg/h
Corriente	C-101
Total	231,82
Hidróxido de sodio	7,86
Aceite de palma	0,08
Biodiesel	13,28
Etanol	210,59
Glicerol	-
Residuos sólidos- Agua	-

Tabla A 17. Balance de masa equipo TW-101

Unidad	kg/h
Corriente	TW-101
Total	1946,82
Hidróxido de sodio	0,29
Aceite de palma	58,19
Biodiesel	1887,35
Etanol	0,99
Glicerol	-
Residuos sólidos- Agua	-

Tabla A 18. Balance de masa equipo TW-102

Unidad	kg/h
Corriente	TW-102
Total	3,47
Hidróxido de sodio	0,02
Aceite de palma	0,04
Biodiesel	2,23
Etanol	1,18
Glicerol	-
Residuos sólidos- Agua	-

Tabla A 19. Balance de masa equipo TS-102

Unidad	kg/h
Corriente	TS-102
Total	235,28
Hidróxido de sodio	7,89
Aceite de palma	0,12
Biodiesel	15,5
Etanol	211,78
Glicerol	312,56
Residuos sólidos- Agua	-

Tabla A 20. Balance de masa equipo TS-101

Unidad	kg/h
Corriente	TS-101
Total	1893,77
Hidróxido de sodio	0,01
Aceite de palma	6,73
Biodiesel	1886,77
Etanol	0,26
Glicerol	
Residuos sólidos- Agua	-

En la Tabla A21, se colocan las propiedades necesarias para calcular el balance de energía de los equipos, como lo son presión, temperatura y caudal. Estos datos los obtenemos de catálogos y propiedades de los diferentes equipos. Con dichos valores se calcula el consumo energético por hora, mes y año de cada uno de los equipos y consecuentemente el consumo de energía total de la planta.

Tabla A 21. Propiedades de los equipos para el balance de energía.

Propiedad	TK-101	TK-102	TK-103	R-101	R-102	D-101
Presión (bar)	1,5	1,5	1	1	1,5	1,5
Temperatura (C)	30	30	30	30	70	30
Caudal kg/s	31,66	31,57	0,09	0,99	32,82	12,9

Propiedad	R-103	D-102	E-101	E-102	E-103	C-101	TW-101	TW-102	TS-102	TS-101
Presión (bar)	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,2	1,5
Temperatura (C)	15	150	60	60	30	15	50	60	140	150
Caudal kg/s	6,96	6,96	8,11	2,79	5,26	20,4	20,4	36,37	32,5	3,93

Tabla A 22. Balance energético de la planta.

Equipo	Energía (P)- hora	Energía-mes	Energía-año	Unidad
Reactor (3)	12	8760	105120	kW
Decantador (2)	3.10	2263	27156	kW
Evaporador (3)	67.5	49275.05	591300	kW
Condensador	3.8	2774	33288	kW
Tanque de lavado (2)	1,4	1022	12264	kW
Bombas (4)	6	4380	52560	kW
Tanque de almacenamiento (5)	-	-	-	kW
TOTAL	93.8	68474.05	821778	kW

8.4. ANEXO D. Selección y dimensionamiento de los equipos.

En la Tabla A23, se colocan las dimensiones de todos los equipos de la planta de producción. Hay que aclarar, que realizar un dimensionamiento de cada uno de los equipos no era necesario porque se está analizando un rediseño y se tenía que acoplar el diseño de los equipos al ya existente con su respectivo caudal y la capacidad.

Tabla A 23. Dimensiones de los equipos correspondientes al catálogo de venta.

Equipo	Fabricante	Modelo	Características
TK-101.102.103	HYX	DN25000MM	Capacidad: 8 ton/h Potencia: - Dimensiones: 4200 x 1660 x 2400 mm
R-101.102.103	Maike Machinery	MK-FYF-10	Capacidad: 6 ton/h Potencia: Dimensiones: 24.71 m ³
D-101.102	Hebei Trade	LW	Capacidad: 7 ton/h Potencia: Dimensiones: 450 mm x 1800 mm x 320mm
E-101.102.103	Plywood Cas	PCS-500	Capacidad: 6 ton/h Potencia: Dimensiones: 7.3 mm x 2.5 mm x 13.3 mm
C-101	Venttech	SV-200	Capacidad: 4 ton/h Potencia: Dimensiones: 23.82 m ³
TW-101.102	solucent	TR-39	Capacidad: 10 ton/h Potencia: - Dimensiones: 1930 m ³
TS-101.102	Youngno	DWL-24	Capacidad: 13 ton/h Potencia: - Dimensiones: 1250mm x 1100mm x 1500 mm

8.5. ANEXO E. Condiciones de seguridad de las materias primas y HAZOP.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

ACEITE DE PALMA

1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad

Nombre comercial: ACEITE DE PALMA

Identificación compañía:

QUIMIPUR, S.L.U.

C/Aluminio, 1

Polígono Industrial Borondo

28510 Campo Real

MADRID

Tlf. 91875 72 34

Email: quimipur@quimipur.com

Teléfono de urgencia:

Número único de emergencias en toda la UE: 112

Número dentro de la compañía: 91 875 72 34

2. Identificación de los peligros

Peligros para la salud humana: No hay peligros si se emplea adecuadamente.

Reacciones peligrosas: ninguna

3. Composición / Información sobre los ingredientes

Caracterización química: Triglicéridos de diferentes ácidos grasos.

CAS N°: 8002-75-3

EINECS N°: 232-316-1

INCI Denominación: *Elaeis guineensis*

4. Primeros auxilios

General: No se requieren medidas importantes

Inhalación: Trasladarse a un espacio abierto. Consulte a un médico después de la exposición.

Contacto piel: Quítese la ropa empapada y lavar la piel con agua y jabón.

Contacto ojos: Aclarar con agua abundante. Intenta mantener los párpados a distancia del globo ocular para asegurar el aclarado.

Ingestión: No se requieren medidas importantes. Consulte a un médico si es necesario.

5. Medidas de lucha contra incendios

Figura A 5. Diamante de seguridad aceite de palma.

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Sección	Clase de peligro	Categoría	Clase y categoría de peligro	Indicación de peligro
2.6	Líquidos inflamables	2	Flam. Liq. 2	H225
3.3	Lesiones oculares graves o irritación ocular	2	Eye Irrit. 2	H319

Véase el texto completo en la SECCIÓN 16

Los principales efectos adversos fisicoquímicos, para la salud humana y para el medio ambiente

El producto es combustible y puede encenderse por fuentes de ignición potenciales.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Palabra de advertencia

Peligro

Pictogramas

GHS02, GHS07



Indicaciones de peligro

H225
H319

Líquido y vapores muy inflamables
Provoca irritación ocular grave

Figura A 6. Diamante de seguridad etanol.

En las Figuras A5-6-7 se coloca las medidas de seguridad manejo y transporte de las materias primas usadas en el proceso. Conjunto con la identificación de los peligros que fueron necesarios para realizar el análisis de riesgos del reactor de transesterificación.

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD HIDROXIDO DE SODIO

Rótulo NFPA



Rótulos UN



Fecha Revisión: 21/03/2005

SECCIÓN 1: PRODUCTO QUÍMICO E IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

Nombre del Producto:	HIDROXIDO DE SODIO
Sinónimos:	Soda cáustica (anhídrica), Soda cáustica en escamas, Cáustico blanco, Lejía, Hidrato de sodio.
Fórmula:	NaOH
Número interno:	
Número UN:	1823 Sólido
Clase UN:	8
Compañía que desarrolló la Hoja de Seguridad:	Esta hoja de datos de seguridad es el producto de la recopilación de información de diferentes bases de datos desarrolladas por entidades internacionales relacionadas con el tema. La alimentación de la información fue realizada por el Consejo Colombiano de Seguridad, Carrera 20 No. 39 - 62. Teléfono (571) 2886355. Fax: (571) 2884367. Bogotá, D.C. - Colombia.

Teléfonos de Emergencia:

SECCIÓN 2: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

COMPONENTES				
Componente	CAS	TWA	STEL	%
Hidróxido de sodio	1310-73-2	N.R. (ACGIH 2004)	C 2 mg/m3 (ACGIH 2004)	99-100

Uso: Neutralización de ácidos, refinación del petróleo, producción de papel, celulosa, textiles, plásticos, explosivos, removedor de pinturas, limpiador de metales, electroplateado, limpiadores comerciales y domésticos, pelado de frutas y verduras en la industria de alimentos.

SECCIÓN 3: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

VISIÓN GENERAL SOBRE LAS EMERGENCIAS:

Peligro. Corrosivo. Higroscópico. Reacciona con agua ácidos y otros materiales. Causa quemaduras a piel y ojos. Puede ocasionar irritación severa de tracto respiratorio y digestivo con posibles quemaduras. En casos crónicos puede producir cáncer en el esófago y dermatitis por contacto prolongado con la piel.

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación:	Irritante severo. Los efectos por la inhalación del polvo o neblina varían desde una irritación moderada hasta serios daños del tracto respiratorio superior, dependiendo de la severidad de la exposición. Los síntomas pueden ser estornudos, dolor de garganta o goteo de la nariz. Puede ocurrir neumonía severa.
Ingestión:	Corrosivo!. La ingestión puede causar quemaduras severas de la boca, garganta y estómago. Pueden ocurrir severas lesiones tisulares y muerte. Los síntomas pueden ser sangrado, vómitos, diarrea, caída de la presión sanguínea. Los daños pueden aparecer algunos días después de la exposición.
Piel:	Corrosivo! El contacto con la piel puede causar irritación o severas quemaduras y cicatrización en las exposiciones mayores.

Figura A 7. Diamante de seguridad hidróxido de sodio.

En la Tabla A24, se realizó el estudio HAZOP de los dos reactores de transesterificación (reactor de biodiesel) con el tipo de operación continuo. Hay que aclarar que, se consideró también las fichas de seguridad de los reactivos de las Figuras A-5.6.7, conjunto con los riesgos más posibles de ocurrencia, en el proceso de producción. Se considera los parámetros en el diseño del reactor que pueden afectar y causar accidentes como temperatura, presión y menos o mayor composición de metanol y aceite de palma.

Tabla A 24. Análisis HAZOP del reactor de transesterificación.

Parámetro	Desviación	Causas	Consecuencias	Acciones requeridas	Posibles acciones
Temperatura	Menor	<ul style="list-style-type: none"> ○ Corrientes de entrada con temperaturas no establecidas en el diseño. ○ Temperatura exterior muy baja. ○ Mal estado del aislamiento térmico del reactor. 	Aumenta la viscosidad del biodiesel.	Colocar una alarma de temperatura baja LTA.	Controlar la condición del aislante térmico.
	Mayor	<ul style="list-style-type: none"> ○ Temperatura exterior muy alta. 	Velocidad de la reacción del reactor variante.	Colocar una alarma de temperatura alta HTA.	Controlar constantemente las condiciones de la

		<ul style="list-style-type: none"> ○ Corrientes de entrada con temperaturas no establecidas en el diseño. 	Se puede evaporar el etanol.		alimentación.
Presión	Menor/NO	<ul style="list-style-type: none"> ○ El venteo del proceso no se encuentra en buen estado. 	<p>Se puede evaporar el etanol.</p> <p>Efectos de vacío, consecuencias de eliminación de la corriente de agua.</p>	Colocar una alarma de presión baja LPA.	Chequeo constante del venteo en el reactor.
	Mayor	<ul style="list-style-type: none"> ○ Flujo de alimentación del aceite de palma y etanol alto. ○ Válvula de seguridad y control en mal funcionamiento. 		<p>Colocar una alarma de presión alta HHPA.</p> <p>Instalar un sistema de control de presión.</p>	Instalar válvula de control y seguridad y un disco de ruptura, preferentemente en serie.
Composición aceite	Menor/No aceite	<ul style="list-style-type: none"> ○ Flujo de alimentación bajo. ○ Mal funcionamiento 	<p>Reducción de la velocidad de reacción.</p> <p>La conversión deseada podría verse afectada.</p>	Chequear la válvula de entrada del flujo.	Correcta inspección de los flujos de entrada del aceite.

		miento de la válvula de entrada.			
	Mayor aceite	<ul style="list-style-type: none"> ○ Flujo de alimentación alto. ○ Mal funcionamiento de la válvula de entrada. 	<p>La conversión deseada podría verse afectada (disminución).</p> <p>Contaminación del producto y propiedades no correctas.</p>	Chequear la válvula de entrada del flujo.	Correcta inspección de los flujos de entrada del aceite.
Composición etanol	Menor/No etanol	<ul style="list-style-type: none"> ○ Flujo de alimentación bajo. ○ Mal funcionamiento de la válvula de entrada se cierra. 	<p>La conversión deseada podría verse afectada (disminución).</p> <p>Reducción de la velocidad de reacción.</p>	Chequear la válvula de entrada del flujo.	Correcta inspección de los flujos de entrada del etanol y mantenimiento de la válvula.
	Mayor etanol	<ul style="list-style-type: none"> ○ Flujo de alimentación alto. ○ Mal funcionamiento de la válvula de entrada se abre. 	Aumento de la energía necesaria en los otros equipos para separar los ésteres y la glicerina.	Chequear la válvula de entrada del flujo.	Correcta inspección de los flujos de entrada del etanol y mantenimiento de la válvula.

8.6. ANEXO F. Costos de los equipos según catálogo.

Los costos de los equipos son presentados en las Figuras a continuación, cada uno de estos equipos se escogieron dependiendo del caudal y capacidad. Todos ellos cumplen con los parámetros establecidos, el precio mostrado fue aumentado en un 12% del valor actual, ya que al tratarse de una página de ventas en China se tiene la importación y los impuestos de los equipos.

Home > Manufacturing & Processing Machinery > Chemical Equipment & Machinery > Chemical Reactor



1000L Customizable Chemical Hydrothermal Mixing Reactor

Reference FOB Price / Purchase Qty. [Get Latest Price >](#)

US \$5,000.00 1-9 Pieces	US \$4,700.00 10+ Pieces
------------------------------------	------------------------------------

After-sales Service: Online Support
 Warranty: 1 Year
 Type: Tank Reactor
 Material: Stainless Steel
 Capacity: 501-1000L
 Agitator Model: Anchor Mixing Paddle
 Customization: Available | [Customized Request](#)

Download Product Catalog

Figura A 8. Costo de los reactores por catálogo.



Lw Decanter Centrifuge

Reference FOB Price [Get Latest Price >](#)

US \$30,000.00 / Set | 1 Set (Min. Order)

After-sales Service: Provided
 Warranty: 1 Year
 Type: Centrifuge
 Object: Chemicals
 Separation Mode: Sedimentation Type
 Operating Type: Continuous Type
 Samples: **US\$ 30000/Set 1 Set (Min. Order)** | [Request Sample](#)
 Customization: Available | [Customized Request](#)

Figura A 9. Costo del decantador por catálogo.



High Effect Full-Automatic Vacuum Evaporator Double Effect Falling Film Evaporator for Animal Milk

Reference FOB Price [Get Latest Price >](#)

US \$7,500.00-22,400.00 / Piece | 1 Piece (Min. Order)

Type: Preparation Machinery
 Finished Dosage Form: Liquid
 Precision: Precision
 Certification: CE, GMP, ISO, ASME
 Voltage: 480V
 Computerized: Computerized

Customization: Available [Customized Request](#)

Figura A 10. Costo del evaporador por catálogo.



2023 Customized Water Saving Dry Type Air Cooler

Reference FOB Price / Purchase Qty. [Get Latest Price >](#)

US \$10,000.00 1-9 Pieces	US \$9,500.00 10-24 Pieces	US \$9,000.00 25+ Pieces
-------------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------

After-sales Service: on Line
 Warranty: 1 Year
 Type: Air-Cooled
 Cooling Water: Water
 System Type: Closed System
 Fans Species: Single-speed Fan

Customization: Available [Customized Request](#)

Figura A 11. Costo del condensador por catálogo.



High Quality FRP/GRP Water Storage Tank for Water Treatment for Fire

Reference FOB Price / Purchase Qty. [Get Latest Price >](#)

US \$155.00 1-4 Pieces	US \$130.00 5-9 Pieces	US \$125.00 10-19 Pieces	US \$100.00 20+ Pieces
----------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	----------------------------------

Certification: ISO9001, CE
 Wall Thickness: 10mm
 Installation: Hidden Type
 Material: FRP
 Type: Fire Water Tank
 Size: Customized

Samples: **US\$ 155/Piece** 1 Piece (Min.Order) [Request Sample](#)
 Customization: Available | [Customized Request](#)

Figura A 12. Costo del tanque de tratamiento de agua por catálogo.



Sf 20kl Double Wall Oil Fuel Storage Tank

Reference FOB Price / Purchase Qty. [Get Latest Price >](#)

US \$3,568.00 1 set	US \$3,500.00 2+ set
-------------------------------	--------------------------------

After-sales Service: Support
 Warranty: 1 Year
 Capacity: 20000 Liters
 Shape: Cylinder
 Mounting Type: Horizontal
 Position: Underground

Figura A 13. Costo de los tanques de almacenamiento por catálogo.



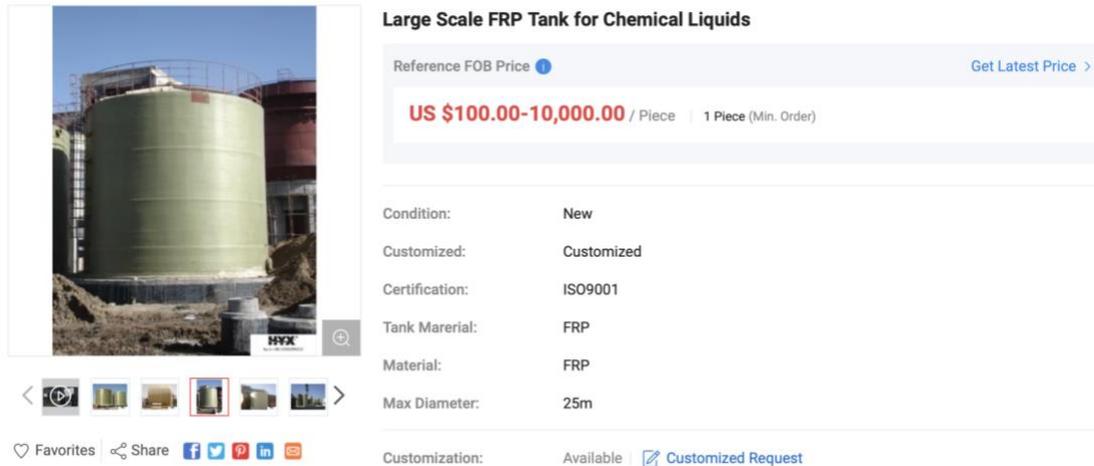
Procesamiento de minerales Minería Bombas centrífugas industriales de lodos de metales pesados para metalurgia, minería, petróleo, productos químicos, planta

Precio FOB de Referencia [Conseguir Precio Último >](#)

US\$ 3.000,00-10.000,00 / Pieza | 1 Pieza (Pedido Mínimo)

After-sales Service: 1 Year
 Warranty: 1 Year
 Max.Head: 10-60
 Máxima capacidad: 360-150
 Tipo de conducción: Motor
 Número Impulsor: Bomba de Multietapas

Figura A 14. Costo de las bombas por catálogo.



Large Scale FRP Tank for Chemical Liquids

Reference FOB Price ⓘ [Get Latest Price >](#)

US \$100.00-10,000.00 / Piece | 1 Piece (Min. Order)

Condition: New
 Customized: Customized
 Certification: ISO9001
 Tank Material: FRP
 Material: FRP
 Max Diameter: 25m

Customization: Available | [Customized Request](#)

Figura A 15. Costo de los tanques de recepción por catálogo.

No. de Modelo.	ZH/200ST	Presión Laboral	Bomba de Baja Presión
Influente Tipo de Impulsor	Bomba de Succión Única	Posición del Eje de la bomba	Bomba Horizontal
Revestimiento de la bomba combinada	Bombas división horizontal	Altura de montaje	Centrifuga de succión
Impulsor	Abierta	Uso	Bomba, Bombas, Bomba de condensado, Bomba de circulación
Application	Mining	Paquete de Transporte	Standard Wooden Box
Marca Comercial	CNZKING	Origen	China
Código del HS	841370	Capacidad de Producción	5000PCS/Month

Descripción de Producto

Características del producto

Caudal: 612-1368m³/hr.

Cabeza H(m): 11-61m

Velocidad: 400-850rpm

Figura A 16. Resumen de la dimensión de los equipos.

8.7. ANEXO G. Metodología empleada en el análisis económico.

Para calcular el factor de Lang, se considera el costo del equipo multiplicado por la corrección del lugar (China-1.90) y el factor de material que al tratarse de acero inoxidable es de 1.3. Una vez se tiene el costo del equipo real, se multiplica dependiendo del flujo con el que trabaja el equipo como se muestra en la Tabla A25 y se obtiene el factor de Lang.

Tabla A 25. Valores del Factor Lang.

TIPO DE PROCESAMIENTO	FACTOR LANG
SOLIDOS	3
FLUIDOS	5
MIXTO	4

Para el Factor Hand, se toma el valor de los equipos reales-correctos y se multiplica por el factor de instalación mostrada en la Tabla A26, que son datos establecidos mediante estudios bibliográficos.

Tabla A 26. Valores del Factor Hand.

Table 6.3. Installation Factors Proposed by Hand (1958)

Equipment Type	Installation Factor
Compressors	2.5
Distillation columns	4
Fired heaters	2
Heat exchangers	3.5
Instruments	4
Miscellaneous equipment	2.5
Pressure vessels	4
Pumps	4

Para el cálculo del Factorial detallado se tienen que tomar en cuenta varios factores dependiendo del fluido con el que trabaja cada uno de los equipos, y se deben multiplicar por el precio del equipo corregido. La fórmula de este factor se encuentra en Figura A17.

Tabla A 27. Valores del Factor detallado.

Table 6.4. Typical Factors for Estimation of Project Fixed Capital Cost

Item	Process Type		
	Fluids	Fluids-Solids	Solids
1. Major equipment, total purchase cost	C_e	C_e	C_e
f_{er} Equipment erection	0.3	0.5	0.6
f_p Piping	0.8	0.6	0.2
f_i Instrumentation and control	0.3	0.3	0.2
f_{el} Electrical	0.2	0.2	0.15
f_c Civil	0.3	0.3	0.2
f_s Structures and buildings	0.2	0.2	0.1
f_l Lagging and paint	0.1	0.1	0.05
ISBL cost $C = \Sigma C_e \times$	3.3	3.2	2.5
Offsites (OS)	0.3	0.4	0.4
Design and Engineering (D&E)	0.3	0.25	0.2
Contingency (X)	0.1	0.1	0.1
Total fixed capital cost $C_{FC} = C(1 + OS)(1 + DE + X)$			
$= C \times$	1.82	1.89	1.82
$= \Sigma C_e \times$	6.00	6.05	4.55

$$C_{ISBL} = \Sigma C_{e,CS} [(1 + f_p) f_m + f_{er} + f_{el} + f_i + f_c + f_s + f_l]$$

Figura A 17. Fórmulas para el cálculo del Factorial detallado.

8.8. ANEXO H. Evaluación económica del proyecto.

Tabla A 28. Costos de los equipos por los tres métodos.

EQUIPOS	LUGAR DE ORIGEN	PRECIO PRODUCTO	CANTIDAD	CORRECCIÓN LUGAR	FACTOR MATERIAL	TOTAL	FACTOR LANG	FACTOR HAND	FACTOR DETALLADO
Reactor de Transesterificación	CHINA	8.600,00	3	1,90	1,30	\$ 63.726,00	\$ 318.630,00	\$ 159.315,00	\$ 382.356,00
Decantador	CHINA	30.000,00	2	1,00	1,30	\$ 78.000,00	\$ 312.000,00	\$ 195.000,00	\$ 171.600,00
Evaporador	CHINA	22.400,00	3	1,00	1,30	\$ 87.360,00	\$ 349.440,00	\$ 349.440,00	\$ 192.192,00
Condensador	CHINA	10.500,00	1	1,90	1,30	\$ 25.935,00	\$ 103.740,00	\$ 90.772,50	\$ 36.309,00
Tanque de Lavado	CHINA	10.100,00	2	1,90	1,30	\$ 49.894,00	\$ 249.470,00	\$ 199.576,00	\$ 109.766,80
Bombas	CHINA	10.000,00	4	1,00	1,00	\$ 40.000,00	\$ 200.000,00	\$ 160.000,00	\$ 68.000,00
Tanque de Almacenamiento	CHINA	3.568,00	5	1,90	1,30	\$ 44.064,80	\$ 220.324,00	\$ 110.162,00	\$ 96.942,56
TOTAL						\$ 388.979,80	\$ 1.753.604,00	\$ 1.264.265,50	\$ 1.057.166,36

Tabla A 29. Cálculo de los valores del Factor Hand y Detallado.

EQUIPO	FACTOR HAND	EQUIPO	FACTOR DETALLADO
Reactor de Transesterificación	2,50	Reactor de Transesterificación	6,00
Decantador	2,50	Decantador	2,20
Evaporador	4,00	Evaporador	2,20
Condensador	3,50	Condensador	1,40
Tanque de Lavado	4,00	Tanque de Lavado	2,20
Bombas	4,00	Bombas	1,70
Tanque de Almacenamiento	2,50	Tanque de Almacenamiento	2,20
		Tuberías	4,80
		Total Reactor de Trans	6,00

Tabla A 30. Costo de la materia prima.

Materia	Precio	Consumo KG Anual	Costo Anual
Aceite de Palma Africana	14,78	70.459	\$ 1.041.389,14
Etanol	0,75	27.432	\$ 20.574,10
Hidroxido de Sodio	0,51	173	\$ 88,38
TOTAL			\$ 1.062.051,61

El costo ISBL se considera el más exacto de los tres factores que en este caso el del Factor Detallado, los demás son obtenidos como una derivación porcentual de éste, como se puede ver en la Tabla A31.

Tabla A 31. Cálculo de la inversión de capital fijo.

		FACTOR HAND	FACTOR DETALLADO	FACTOR LANG
	ISBL	\$ 1.264.265,50	\$ 1.057.166,36	\$ 1.753.604,00
20% COSTO ISBL-revisar	OSBL	\$ 252.853,10	\$ 211.433,27	\$ 350.720,80
7% ISBL	INGENIERIA	\$ 88.498,59	\$ 74.001,65	\$ 122.752,28
10%(ISBL+OSBL)	IMPREVISTOS	\$ 151.711,86	\$ 126.859,96	\$ 210.432,48
	CF INVERSION	\$ 1.757.329,05	\$ 1.469.461,24	\$ 2.437.509,56
	CF INVERSION	\$ 1.469.461,24		

Tabla A 32. Costos labores de operación.

TURNO	PERSONAL	ALARIO INDIVIDUAL ANUA	HORAS EXTRAS	SALARIO ANUAL
1	50	5.400,00	\$ 1.620,00	351.000,00
2	50	6.000,00	\$ 1.800,00	390.000,00
3	50	6.600,00	\$ 1.980,00	429.000,00
4	50	7.200,00	\$ 2.160,00	468.000,00
			TOTAL	1.638.000,00

Para el cálculo del costo de energía se considera, el costo de kW/hora, impuesto por la Empresa Eléctrica para industrias. El valor total calculado en el balance energético fue transformado a horas.

Tabla A 33. Costo de la energía eléctrica.

ENERGIA/ELECTRICIDAD	Kw/h	2.251,20
kW Hora	\$/h	8,58
COSTO ENERGIA Anual	\$	7.050.083,04

Tabla A 34. Total, costo de producción.

MATERIAS PRIMAS	\$	1.062.051,61
ENERGIA	\$	7.050.083,04
OPERARIOS	\$	1.638.000,00
COORDINACION Y SUPERVISION	\$	84.000,00
Mantenimiento	\$	14.694,61
Impuestos	\$	8.816,77
GASTOS VARIOS	\$	4.408,38
PERMISOS AMBIENTALES	\$	11.755,69
COSTOS FIJOS	\$	1.761.675,45
COSTOS VARIABLES	\$	8.112.134,65
TOTAL COSTO PRODUCCION	\$	9.873.810,11

Para los cálculos del costo de capital de trabajo anual, se consideran los parámetros de la siguiente Tabla A35, con esto se tiene un aproximado anual del costo total, el cual es mostrado en la Tabla A36.

Tabla A 35. Parámetros impuestos para el capital de trabajo.

Materias Primas	4 Semanas de consumo
Productos	Costo de producción de 4 semanas
Liquidez	Costo de producción de 1 semana
Obtención de créditos	Materia prima de 8 semanas
Repuestos	1.1% del ISBL + OSBL

Tabla A 36. Total, costo de capital de trabajo anual.

	COSTO/Año	
Materias Primas	\$	23.232,38
Productos	\$	215.989,60
Liquidez	\$	215.989,60
Obtención de créditos	\$	215.989,60
Repuestos	\$	13.954,60
TOTAL	\$	685.155,76

La estimación de ingresos se toma en cuenta con el precio actual del biodiesel impuesto en Ecuador, valor que también es aprobado para la exportación del producto desde Latinoamérica hacia Europa y Estados Unidos.

Tabla A 37. Estimación de ingresos del proyecto.

Venta Kilograma Biodiesel	\$	131.058.432,00		
Ingresos brutos	\$	121.184.621,89	Impuestos	12%
Ingresos netos	\$	106.642.467,27		\$ 14.542.154,63
DIFERENCIA	\$	96.768.657,16		

La estimación de los ingresos brutos y netos se muestran a continuación, considerando los ingresos y los costos de capital de trabajo. Los dos primeros años se muestran negativos, debido a que no se generan ingresos.

Tabla A 38. Cálculo del ingreso bruto y neto.

			VENTA	INGRESOS BRUTOS	INGRESOS NETOS
1	ANO	\$ -	\$ -		
2	ANO	\$ -	\$ -		
3	ANO	\$ 29.341.440,00	\$ 39.317.529,60	\$ 29.443.719,49	\$ 14.901.564,87
4	ANO	\$ 73.353.600,00	\$ 98.293.824,00	\$ 88.420.013,89	\$ 73.877.859,27
5	ANO	\$ 97.804.800,00	\$ 131.058.432,00	\$ 121.184.621,89	\$ 106.642.467,27

Tabla A 39. Resumen de los valores de estimación de costos.

CIF	1,47	CF INVERSION
CPF	1,76	costos fijos
CV	8,11	costos variables
C.TRA	0,69	CAPITAL DE TRABAJO

El flujo de caja se calcula con los costos por año y los ingresos obtenidos. Hay que aclarar que, se tiene pérdida los dos primeros años y a partir del tercer año se genera utilidad; se considera diez años de vida útil del proyecto. El flujo acumulado es la suma del circulante del efectivo de la planta más el circulante de efectivo del ejercicio económico actual.

Tabla A 40. Cálculo flujo de caja.

Año	Costos [\$ /año]	Ingresos [\$ /año]	Flujo Caja	Flujo Caja Acumulado
1	0,44	0	-0,44	-0,44
2	0,74	0	-0,74	-1,18
3	5,18	14,9	9,72	8,55
4	6,63	73,88	67,25	75,80
5	9,87	106,64	96,77	172,57
6	9,87	106,64	96,77	269,34
7	9,87	106,64	96,77	366,11
8	9,87	106,64	96,77	462,88
9	9,87	106,64	96,77	559,65
10	9,87	106,64	96,77	656,42

Las Tablas A41-42, son calculadas a partir de todos los valores calculados anteriormente, considerando los impuestos en este tipo de proyectos. Con esto, se puede

obtener el método MACRS, el cual nos da el valor del VAN y el TIR, conjunto con el tiempo de recuperación de la inversión que es igual de tres años.

Tabla A 41. Cálculo del VAN y TIR.

Año	Beneficio bruto [MM\$]	Cargas de depreciación Di [MM\$]	Ingresos gravables [MM\$]	Impuestos pagados [MM\$]	Flujo de caja [MM\$]	Factor de descuento (1+i) ⁻ⁿ	Valor actual del CF [MM\$]
0	0	-	-	-	-1,47	1,00	-1,47
1	0	0,15	-0,15	-	-	0,77	-
2	0	0,15	-0,15	-0,05	0,05	0,59	0,03
3	14,9	0,15	14,75	-0,05	14,95	0,46	6,81
4	73,88	0,15	73,73	5,16	68,72	0,35	24,06
5	106,64	0,15	106,49	25,81	80,83	0,27	21,77
6	106,64	0,15	106,49	37,27	69,37	0,21	14,37
7	106,64	0,15	106,49	37,27	69,37	0,16	11,05
8	106,64	0,15	106,49	37,27	69,37	0,12	8,50
9	106,64	0,15	106,49	37,27	69,37	0,09	6,54
10	106,64	0,15	106,49	37,27	69,37	0,07	5,03
						VAN	96,70
						Interés	0,30

Tabla A 42. Cálculo del flujo de caja acumulado, método MACRS.

Año	Beneficio bruto [MM\$]	Cargas de depreciación Di [MM\$]	Ingresos gravables [MM\$]	Impuestos pagados [MM\$]	Flujo de caja [MM\$]	Factor de descuento	Valor actual del CF [MM\$]
0	0	-	-	-	-1,47	1,00	-1,47
1	0	0,15	-0,15	-	-	0,60	-
2	0	0,15	-0,15	-0,05	0,05	0,36	0,02
3	14,9	0,15	14,75	-0,05	14,95	0,22	3,29
4	73,88	0,15	73,73	5,16	68,72	0,13	9,13
5	106,64	0,15	106,49	25,81	80,83	0,08	6,48
6	106,64	0,15	106,49	37,27	69,37	0,05	3,36
7	106,64	0,15	106,49	37,27	69,37	0,03	2,03
8	106,64	0,15	106,49	37,27	69,37	0,02	1,22
9	106,64	0,15	106,49	37,27	69,37	0,01	0,74
10	106,64	0,15	106,49	37,27	69,37	0,01	0,45
						VAN	25,25
						Interés	0,66