

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Estudio comparativo y selección del proceso de producción de biodiesel diseñando un reactor de lecho fijo para la reacción de transesterificación utilizando catalizadores heterogéneos.

Martha Doménica Vásconez Meythaler

Ingeniería Química

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera química

Quito, 5 de mayo de 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

**COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS -
POLITÉCNICO**

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Estudio comparativo y selección del proceso de producción de biodiesel
diseñando un reactor de lecho fijo para la reacción de transesterificación
utilizando catalizadores heterogéneos**

Martha Doménica Vásconez Meythaler

Nombre del profesor, Título académico

Dr.-Ing. Daniela Almeida

José Mora, Ph.D.

Juan Diego Fonseca Ashton, Ph.D.

Quito, 5 de mayo de 2020

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 el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Martha Doménica Vásconez Meythaler

Código: 00126641

Cédula de identidad: 0503083719

Lugar y fecha: Quito, abril de 2020

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UNPUBLISHED DOCUMENT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

La creciente demanda energética ha impulsado el estudio de nuevas fuentes sustentables para cubrir esta necesidad. El biodiesel es una de ellas y podría sustituir el uso de diésel de origen fósil. Proviene de la reacción de transesterificación de ácidos grasos y un alcohol de cadena corta. Dicha reacción debe utilizar catalizadores, que pueden ser homogéneos o heterogéneos. Este estudio se ha propuesto la comparación de dos procesos con distintas condiciones de operación para la producción de biodiesel utilizando un reactor de lecho fijo intermitente con óxido de calcio como catalizador heterogéneo. Como materia prima para ambos procesos se utilizó aceite de cocina usado recolectado en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), evitando que este desecho llegue a ecosistemas marinos. Como base de cálculo se utilizó la demanda de biodiesel que se tendría en el DMQ, según la normativa ecuatoriana. Para los dos proyectos se realizó el diseño del proceso, el diseño de la planta y el análisis económico. Los resultados obtenidos fueron que el primer proceso es más rentable que el segundo porque este necesita menos metanol, siendo este la materia prima más costosa, aunque en el segundo proceso se necesitarían menos equipos minorando la inversión inicial.

Palabras clave: biodiesel, reactor de lecho fijo intermitente, catalizador heterogéneo, aceite de cocina usado, diseño del proceso, diseño de planta, análisis económico, metanol.

ABSTRACT

The growing energy demand has prompted the study of new sustainable sources to meet this need. Biodiesel is one of them and could replace the use of diesel of fossil origin. It comes from the transesterification reaction of fatty acids and a short-chain alcohol. This reaction must use catalysts, which can be homogeneous or heterogeneous. This study has proposed the comparison of two processes with different operating conditions for the production of biodiesel using an intermittent bed reactor with calcium oxide as a heterogeneous catalyst. Used cooking oil collected in Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) was used as raw material for both processes, preventing this waste from reaching marine ecosystems. As a calculation basis, the biodiesel demand that would be in the DMQ was used, according to Ecuadorian regulations. The process design, plant design and economic analysis were carried out for both projects. The results obtained were that the first process is more profitable than the second because it needs less methanol, it is the most expensive raw material, although in the second process less equipment would be needed, reducing the initial investment.

Key words: biodiesel, intermittent bed reactor, heterogeneous catalyst, used cooking oil, process design, plant design, economic analysis, methanol.

Índice de contenidos

Introducción.....	10
Bases del diseño.....	14
Resultados y Discusiones	20
Conclusiones.....	45
Referencias	46
Anexos.....	51
Anexo A: Norma para el manejo y control del Biodiesel	73
Anexo B: Metodología para el balance de masa y energía	74
Anexo C: Metodología para el diagrama de bloque	75
Anexo D: Metodología para el diagrama de flujo	76
Anexo E: Metodología para el diseño del reactor	77
Anexo F: Metodología para diseñar el tanque de agitación y su motor.....	79
Anexo G: Metodología para diseñar tanques de almacenamiento.....	81
Anexo H: Metodología para el diseño de una bomba centrífuga	84
Anexo I. Metodología para calcular el ISBL por medio de los factores de Lang	87
Anexo J: Metodología para calcular el ISBL por medio de la estimación factorial detallada	88
Anexo K: Determinación de costos OSBL, diseño e ingeniería, contingencia y capital fijo total.....	90
Anexo L: Desglose del capital fijo, costos variables y capital de trabajo.....	91

Índice de tablas

Tabla 1. Costo y proveedor de la materia prima para la reacción de transesterificación.....	20
Tabla 2. Balance de masa separador	23
Tabla 3. Balance de masa reactor proceso 1 propuesto por Vujicic	24
Tabla 4. Balance de masa centrifugador proceso 1	24
Tabla 5. Balance calcinador proceso 1.....	26
Tabla 6. Balance energético proceso 1.....	27
Tabla 7. Balance de masa reactor proceso 2 propuesto por Ozkan	28
Tabla 8. Balance calcinador proceso 2 propuesto por Ozkan.	28
Tabla 9. Balance energético proceso 2 propuesto por Ozkan.	29
Tabla 10. Simbología de la figura 4 y 5	32
Tabla 11. Resultados del dimensionamiento de los tanques de agitación para el proceso 1 y 2.	34
Tabla 12. Parámetros para el diseño de los tanques de almacenamiento para el proceso 1.	35
Tabla 13. Parámetros para el diseño de los tanques de almacenamiento para el proceso 2.	36
Tabla 14. Parámetros para el diseño de las bombas centrífugas para el proceso 1.	37
Tabla 15. Parámetros de diseño para el reactor de lecho fijo intermitente para el proceso 1 propuesto por Vujicic.....	37
Tabla 16. Costo por equipo de cada proceso.....	39
Tabla 17. Comparación de costos ISBL de los procesos.	40
Tabla 18. Costos de cada proceso.....	40
Tabla 19. Costo de producción.	41
Tabla 20. Ganancia neta.....	42

Tabla 21. Costos de capital de trabajo	42
Tabla 22. Tiempo de retorno.	43
Tabla 23. Costos variables.....	43
Tabla 24. Costo fijo total.....	44
Tabla 25. Dimensiones, capacidades y pesos de tuberías estándar de acero.....	87
Tabla 26. Factores típicos para la estimación de costo de capital fijo de un proyecto.	89

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de bloque para proceso 1 propuesto por Vujicic	22
Figura 2. Diagrama calcinador.	26
Figura 3. Diagrama de bloque para proceso 2 propuesto por Ozkan.....	27
Figura 4. Diagrama de flujo del proceso 1	31
Figura 5. Diagrama de flujo del proceso 2.	32
Figura 6. Parámetros de diseño de un tanque de agitación.	33
Figura 7. Esquema del reactor para el proceso 1 propuesto por Vujicic.	38
Figura 8. Reactor catalítico de lecho fijo intermitente.....	78
Figura 9. Correlaciones de potencia para diversos impulsores y deflectores.....	81
Figura 10. Esquema para el diseño de un tanque de almacenamiento elipsoidal.	82

1. Introducción

La cantidad de energía utilizada a nivel mundial ha aumentado en los últimos años por diferentes factores. El crecimiento demográfico es uno de ellos ya que el aumento de personas en el mundo genera una demanda más alta de productos básicos, industrias, creación o crecimiento de ciudades y necesidad de transportarse en las mismas. Se debe tomar en cuenta que el 83% de la energía consumida es generada por combustibles fósiles como gasolina, diésel, carbón y gas (Nasir, Daud, Kamarudin, & Yaakob, 2013). La combustión de estos combustibles genera contaminación en el ambiente que se puede presenciar en las ciudades más pobladas por la densidad en el aire y por su color grisáceo (Cabello, Rincón, & Zepeda, 2017). La ONU ha detectado que el 78% de la energía mundial es consumida por las grandes ciudades generando el 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero (Organización de las Naciones Unidas, 2019).

Un estudio realizado por el Banco Mundial en el 2013 (Banco Mundial & Institute for Health Metrics and Evaluation Universidad de Washington, Seattle, 2016) sobre la contaminación atmosférica dice que uno de cada 10 fallecimientos es atribuido a enfermedades causadas por la contaminación y que el 93% de muertes y enfermedades no mortales fueron causadas en dichas regiones urbanas. El Banco Mundial también detalla que las pérdidas económicas causadas por la mortalidad prematura, disminución de productividad por dificultad al respirar o disminuir el interés de trabajadores por dichas ciudades contaminadas ascienden a 5,11 billones de dólares americanos. En conclusión, las pérdidas humanas y económicas a consecuencia de la contaminación atmosférica son muy altas, por esta razón es

importante el estudio de energías renovables, con una disminución significativa de emisiones y que permita una transición no tan drástica de la tecnología que se utiliza en este momento a una nueva. (Banco Mundial & Institute for Health Metrics and Evaluation Universidad de Washington, Seattle, 2016)

Una de las opciones planteadas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero es la producción de energía a partir de biomasa. La biomasa es orgánica, lo que significa que es producida por seres vivos; y la producción de energía tiene como materia prima los desechos, madera y las plantas. La energía que utilizan estos organismos es generada por el sol y al llegar a la Tierra se procesa por fotosíntesis para su almacenamiento y utilización. Existen dos maneras de conseguir energía por biomasa, convertirla en electricidad por combustión o procesarla en biocombustibles (EIA. Energy Information Administration, 2018). Se considera que el uso y producción de biocombustibles es carbono – neutral ya que las emisiones que se podrían generar por la quema de estos combustibles se compensa con la absorción de CO₂ de las plantaciones de donde se consigue (EIA. Energy Information Administration, 2019).

Una alternativa de la energía generada por biomasa es el biodiesel. El biodiesel es una mezcla de esteres metílicos de ácidos grasos producida por grasa animal o vegetal a través de la reacción de transesterificación. Este combustible se tomó en cuenta para suplir el diésel producido a partir de petróleo por sus semejanzas como la lubricidad que ayuda al rendimiento del combustible. En comparación entre el biodiesel y el diésel, el primero tiene un número de cetano más alto, pero también tiene una capacidad calorífica menor, además de densidad y viscosidad más altas por

lo que no se recomienda su uso en climas fríos. Entre las ventajas que se observan del biodiesel está que genera emisiones muy bajas de gases de efecto invernadero como el monóxido de carbono, óxidos de azufre y compuestos orgánicos volátiles. Este combustible puede ser producido a partir de aceite de cocina usado que causa contaminación del agua por su mala gestión ambiental (Rouhany & Montgomery, 2018).

La producción de biodiesel se puede realizar por medio de catalizadores homogéneos o heterogéneos. El proceso utilizado con mayor frecuencia catalizadores homogéneos ya que el rendimiento de esta reacción es alto, se obtiene en un tiempo de reacción menor y su fácil operación, pero este sigue siendo limitado por ser altamente corrosivo, difícil separación y excesiva generación de residuos tóxicos (Wang, Zhang, & Ding, 2017). El desarrollo de catalizadores heterogéneos tiene como objetivo principalmente crear un proceso con un menor impacto ambiental. Existen investigaciones en diferentes fuentes de energía como hidroeléctrica o eólica, pero en el área del transporte la contaminación es alta y se necesitan combustibles líquidos que sean derivados de biomasa (Wilson & Lee, 2010).

Los aceites vegetales usados varias veces para la cocción de alimentos han generado un problema de contaminación por su descarga en el alcantarillado (Espín, 2012), tiene un impacto negativo, particularmente en el agua y el suelo. En el agua, el aceite forma una capa en la superficie de la misma que previene la disolución de oxígeno, lo cual está consiguiendo una extinción masiva de la biodiversidad marina (Ubalua, 2011). Otro impacto de la contaminación por aceites en el agua es el aumento de la demanda química de oxígeno (DQO) por los subproductos de su

degradación, los mismos que son tóxicos a las especies acuáticas que los ingieran (Hanisak, Kumar, & Tajul, 2013).

La producción de biodiesel ha generado una discusión ética ya que tierras, sembríos y recursos que pueden ser usados para alimentación son usados para la obtención de energía limpia a partir de biomasa proveniente de cultivos. Sin embargo, un hecho importante es que no necesariamente se debe utilizar aceites vegetales primarios para la manufacturación de este biocombustible, sino que se puede utilizar el aceite usado de cocina. Las ventajas de usar este aceite son que económicamente es mucho menos costoso ya que es considerado como un desecho, que no se utilizarían tierras para el cultivo de la materia prima, y que la presencia de calor y agua acelera la hidrólisis de triglicéridos y aumenta el contenido de ácidos grasos libres para la producción de biodiesel (Kawentar & Budiman, 2013).

La producción de biodiesel en el Ecuador aún está en etapas tempranas de desarrollo. Una propuesta para proveer una fuente de energía más limpia y que, disminuya los gases de efecto invernadero, es producir bioetanol y mezclarlo con gasolina para utilizarlo en automóviles. Proyectos de este tipo se ha implementado principalmente en ciudades de la costa ecuatoriana como Manta (Jefatura corporativa de planificación, 2018). En el Ecuador se ha puesto en marcha un proyecto que propone mezclar diésel Premium con biodiesel en cantidades de cambio pequeñas para no causar daños en los motores por el cambio (Borbor & Velasteguí, 2017). Por otra parte, en el Distrito Metropolitano de Quito se generan 7 millones de litros de aceite de cocina usado al año que se podrían destinar para la producción de biodiesel para cubrir parte de la demanda local (Chiriboga, 2018).

Este proyecto consiste en el diseño de una planta piloto de producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado y recolectado en el Distrito Metropolitano de Quito, con el fin de obtener combustible biodiesel como fuente de energía limpia y que contribuya a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero por combustibles fósiles y la contaminación generada por el mal manejo de aceite de cocina usado.

1.1.Objetivo general

Diseñar una planta piloto para la producción de biodiesel por la reacción de transesterificación con catalizadores heterogéneos.

1.2.Objetivos específicos

- Seleccionar el proceso y los catalizadores heterogéneos más adecuados para el proyecto.
- Realizar los diagramas de bloque y flujo para producción de biodiesel mediante la reacción de transesterificación con el catalizador heterogéneo
- Dimensionar los equipos necesarios para la producción de biodiesel.
- Efectuar el análisis económico de la planta piloto.

2. Bases del diseño

2.1.Fundamentos teóricos

El biodiesel consta de ésteres metílicos de ácidos grasos producidos por la reacción de transesterificación entre un ácido graso, como aceite vegetal o grasa

animal, con alcoholes de cadena corta, como etanol o metanol, en presencia de un catalizador. Los productos de la reacción son el éster y la glicerina (Elkady, Zaatout, & Balbaa, 2015). El catalizador que se usa para dicha reacción puede ser homogéneo, ácido o básico, o heterogéneo, dependiendo del proceso de producción (Singh & Fernando, 2007). Entre las características más importantes del biodiesel se tiene que es biodegradable, tiene una toxicidad relativa baja, y produce una menor cantidad de emisiones de CO₂ y compuestos sulfurados que contribuyen al efecto invernadero en motores de combustión interna. (Mazaheri, y otros, 2017). Por dichas razones se considera al biodiesel como una alternativa sustentable y renovable para la generación de energía sin requerir modificaciones mecánicas en automóviles a diésel.

2.2. Normas y legislación

En Ecuador se han implementado algunas normas para la reducción de emisiones de CO₂ y otros contaminantes que aportan las emisiones GEI. Entre estas propuestas están la disminución de emisiones de combustibles fósiles en motores a gasolina o diésel. En este momento en algunas provincias de la costa ya se implementó la gasolina Ecopaís que tiene un porcentaje de gasolina y otro de etanol. Para el diésel la Agencia de Control y Regulación Hidrocarburífero (ARCH) ha emitido la Norma para el manejo y control del Biodiesel (ARCH, 2013) (Anexo 1). La ARCH resuelve en este documento que la mezcla entre diésel Premium y biodiesel debe tener 95% y 5%, respectivamente. El biodiesel que se necesita para esta mezcla debe tener una pureza del 95% mínimo.

2.3.Limitaciones

En la provincia de Pichincha se consumen 51 millones de litros de diésel por mes (Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador (AIHE), 2018). Dicha cantidad resulta difícil cubrir por completo con un proyecto piloto, por lo que se toma como base del diseño la cantidad de aceite de cocina usado que se puede recolectar en la provincia, la cual asciende a 7 millones de litros al mes. Después de realizar una purificación del aceite de sólidos suspendidos y agua, se recupera el 85% de aceite. Tomando en cuenta eso, la cantidad de materia prima que se puede recolectar es 495.833 de litros al mes, a partir de los cuales se podría producir alrededor de 1,49 millones de litros de biodiesel al mes. Esta producción cubriría el 58,3% de la demanda de biodiesel para la provincia de Pichincha.

2.4.Selección del proceso

2.4.1. Selección del catalizador

La diferencia entre catalizadores homogéneos y heterogéneos es la fase en la que estos se encuentran durante la reacción, en comparación con el medio reaccionante. En el caso de los catalizadores homogéneos, estos se encuentran en la misma fase que el medio, es decir, en fase líquida. En contraste, los catalizadores heterogéneos están en una fase diferente; por lo general son sólidos mientras que la mezcla reactiva está en fase gaseosa o líquida. Las ventajas de los catalizadores heterogéneos sobre los homogéneos son, primero que se elimina el paso de lavado de biodiesel, el cual utiliza grandes cantidades de agua;

segundo, el catalizador es reusable y el producto final tiene una pureza más alta; y tercero, se simplifica el proceso de producción (Vujicic, Zarubica, Micic, & Boskovic, 2010). Por dichas razones, para este proyecto se ha elegido la utilización de un catalizador heterogéneo.

Diferentes estudios han sido publicados comparando la cinética y el rendimiento de algunos catalizadores heterogéneos. En el estudio realizado por Singh y Fernando se analizan catalizadores que tuvieron alto rendimiento en otros estudios y los compara en las mismas condiciones de reacción en su estudio (Singh & Fernando, 2007). Como resultado de este estudio se obtuvo que el óxido de bario y el óxido de calcio tienen un rendimiento mayor y las constantes de reacción más altas a 100 °C y 215 °C. Para este proyecto se ha elegido la utilización del óxido de calcio por su facilidad de adquisición y por estudios realizados en el USFQ demostrando su rendimiento . (Acosta, 2018) Las condiciones de operación se definieron en 100 °C por 2.5 horas.

Al analizar las condiciones de operación se representan un mayor porcentaje de rendimiento, se encontró que en el estudio de Vujicic y asociados, se utiliza óxido de calcio a diferentes tiempos de reacción y a temperaturas menores comparadas al estudio de Singh (Singh & Fernando, 2007). En el estudio realizado por Vujicic y asociados (Vujicic, Zarubica, Micic, & Boskovic, 2010) se encuentra el rendimiento más alto de 91%, en un rango de 5, 5 horas a 80°C y 2,5 horas a 100°C. En el estudio realizado por Ozkan y asociados (Ozkan, y otros, 2019) detalla un rendimiento mayor al estudio anterior del 99%, pero en el que se utiliza una relación molar metanol: aceite mayor (Ozkan, y otros, 2019). Las

condiciones de operación en este caso son de 2 horas a 60°C. Para el presente proyecto se han considerado los dos estudios para desarrollar el diseño de la planta de producción de biodiesel y el análisis económico. Se compararán los resultados de este proyecto con cada uno de estos estudios para elegir el proyecto más rentable.

2.4.2. Selección del tipo de reactor

Existen varios tipos de reactor para reacciones con catalizadores heterogéneos. Se puede utilizar un reactor tipo Batch o intermitente ideal con agitación en el que las partículas del catalizador estarán suspendidas en el medio reaccional. En este tipo de reactor un catalizador heterogéneo puede ser fácilmente removido del producto final (Kiamineshi, Abbaspuor-Aghdam, & Derakhshan, 2017). Sin embargo, las desventajas de utilizar este son la limitación de transferencia de masa por la inmiscibilidad entre los reactivos, los productos no son uniformes en cada lote de producto, dificultades para trabajar en un proceso continuo, alto consumo de energía y una gran cantidad de agua para purificar el producto final. Estos problemas también se presentarán en un reactor continuo de mezcla completa o CSTR (continuous stirred tank reactor) (Baroutian, Aroua, Raman, & Sulaiman, 2011).

Por estas razones se ha elegido un reactor de lecho fijo. En este reactor se mejora las limitaciones de transferencia de masa, se puede trabajar en un proceso continuo como discontinuo y no se necesita una gran cantidad de agua para purificar el producto final, ya que el catalizador permanece en el reactor. Se han diseñado diferentes reactores de lecho fijo para solucionar la poca miscibilidad

que tienen los reactivos. Se presenta un diagrama del mismo en el Anexo H. Este consta del lecho fijo, empacado solamente con el catalizador, conectado a un tanque de agitación que homogeniza la mezcla antes de entrar al lecho fijo. Se llama proceso intermitente ya que la mezcla fluye entre los dos equipos durante el tiempo de reacción, sin una salida mientras que no se haya cumplido dicho tiempo (Levenspiel, 2004).

2.5. Materia prima

Las materias primas que se utilizarán para la planta de producción de biodiesel son aceite de cocina usado, metanol y óxido de calcio como catalizador. La base del diseño del proceso, así como la capacidad de la planta donde se llevará a cabo se fija por la cantidad de aceite vegetal que se desecha en el Distrito Metropolitano de Quito, la cual es 495 833 litros al mes. Basado en la estequiometría de la reacción y literatura se considera que se necesitan 382 025 litros de metanol por mes y 1 492 kilogramos al mes de óxido de calcio, tomando en cuenta que este cumple 5 ciclos de reacción. En la Tabla 1. Costo y proveedor de la materia prima para la reacción de transesterificación. se presentan los costos de adquisición de la materia prima.

Tabla 1. Costo y proveedor de la materia prima para la reacción de transesterificación.

Materia Prima	Costo	Distribuidor
Aceite Usado	0.1 [\$/litro]	ARC Aceite Reciclado de Cocina
Metanol	3.52 [\$/litro]	Labdin
Óxido de Calcio	0.24 [\$/kg]	Disensa

3. Resultados y Discusiones

3.1. Diseño del proceso

Para el diseño del proceso se seleccionaron dos procesos de diferentes estudios realizados por Vujicic y asociados (Vujicic, Zarubica, Micic, & Boskovic, 2010) y por Ozkan y asociados (Ozkan, y otros, 2019). El primer estudio descrito, denominado como proceso 1, de Vujicic y asociados (Vujicic, Zarubica, Micic, & Boskovic, 2010), se diferencia por el tiempo de reacción que son 2.5 horas, la temperatura de reacción a 100 °C, la relación molar metanol:aceite 6:1, y la constante cinética de reacción es 0.14 minutos⁻¹.

En el segundo estudio, denominado como proceso 2, de Ozkan y asociados (Ozkan, y otros, 2019), el tiempo de reacción es de 2 horas, la temperatura de reacción es a 60°C, la relación molar metanol:aceite es 12:1, y la constante cinética de reacción es 0.0036 minutos⁻¹. A continuación, se detallarán los parámetros considerados para ambos procesos, los balances de materia, energía y sus diagramas de bloque. Para los dos procesos se toma en cuenta la misma reacción y el mismo catalizador que se seleccionó anteriormente, CaO.

3.1.1. Proceso 1 propuesto por Vujicic

Este se basa en el estudio realizado por (Vujicic, Zarubica, Micic, & Boskovic, 2010).

El diagrama de bloque propuesto, usando la metodología descrita en el Anexo E, para este proceso es el siguiente:

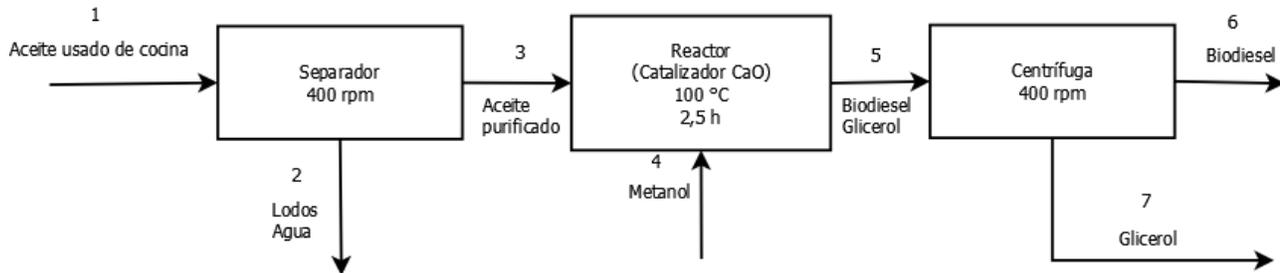


Figura 1. Diagrama de bloque para proceso 1 propuesto por Vujicic

En la Figura 1. Diagrama de bloque para proceso 1 propuesto por Vujicic se detalla un separador trifásico que tendrá una entrada, el aceite de cocina usado, y dos salidas, agua y aceite purificado ya que los lodos presentes en el aceite sin purificar se aglomerarán en las paredes del separador. En dicha Figura también está representado el reactor que será de lecho fijo intermitente, trabajará a 100°C por 2.5 horas y tendrá el empaque de catalizador óxido de calcio. En el estudio realizado por Vujicic y asociados (Vujicic, Zarubica, Micic, & Boskovic, 2010) utilizan un reactor de agitación por impulsor para laboratorio con unidades de control de temperatura y presión, y el catalizador empacado en dos cilindros metálicos fijados al reactor.

Se implementa la centrifuga para separar la glicerina y el biodiesel. Según la normativa ecuatoriana el biodiesel debe tener 95% en volumen. Cabe recalcar que de acuerdo a este estudio se obtiene una pureza del 91%. Los números en la Figura 1. Diagrama de bloque para proceso 1 propuesto por Vujicic representan las corrientes

de alimentación y salida. A continuación, usando la metodología descrita en el Anexo E, se especifican los balances de masa de cada operación y del reactor.

Tabla 2. Balance de masa separador

Corrientes	1		2		3	
Componentes	Fracción Molar	Caudal [m3/h]	Fracción Molar	Caudal [m3/h]	Fracción Molar	Caudal [m3/h]
Aceite	0.85	2.066	0.010	0.003	0.98	2.057
Lodos	0.05	0.122	0.303	0.101	0.01	0.021
Agua	0.10	0.243	0.670	0.222	0.01	0.021
Total	1.00	2.430	0.983	0.331	1.00	2.099

En el separador de aceite de cocina usado se asumió un mínimo porcentaje de lodos y agua, 1% para cada uno, que se representan en la corriente 3 de aceite purificado. Para el reactor, que consta del catalizador óxido de calcio como empaque y un tanque de agitación para homogenizar la mezcla, se realizó un balance molecular, teniendo como dato importante que el metanol en esta reacción debe estar en exceso por lo que se toma una relación molar metanol : aceite de 6:1 (Vujicic, Zarubica, Micic, & Boskovic, 2010). El caudal del aceite de la corriente 3 de la Tabla 2. Balance de masa separador se mantiene porque los lodos y el agua no reaccionan, y la cantidad que estará en la corriente de biodiesel será la misma.

Tabla 3. Balance de masa reactor proceso 1 propuesto por Vujicic

Corrientes	3		4		5	
Componentes	Fracción Molar	Caudal [m³/h]	Fracción Molar	Caudal [m³/h]	Fracción Molar	Caudal [m³/h]
Aceite	0.98	2.06	-	-	-	
Lodos	0.01	0.02	-	-	0.003	0.02
Agua	0.01	0.02	0.01	0.02	0.003	0.02
Metanol	-	-	0.99	1.52	-	-
Biodiesel	-	-	-	-	0.91	6.17
Glicerol	-	-	-	-	0.07	0.46
Total	1.00	2.10	1.00	1.54	1.00	6.67

En este estudio se obtiene una pureza del 91% de biodiesel y se debe obtener 95%, como se especificó anteriormente, lo que se tomó en cuenta para el balance de la centrífuga. Se asumió que en la corriente 7 se obtendrá 5% de glicerol y que los lodos y aceites se separan hacia la corriente 6.

Tabla 4. Balance de masa centrifugador proceso 1

Corrientes	5		6		7	
Componentes	Fracción Molar	Caudal [m³/h]	Fracción Molar	Caudal [m³/h]	Fracción Molar	Caudal [m³/h]
Lodos	0.003	0.02	0.11	0.02	-	-
Agua	0.003	0.02	0.11	0.02	-	-
Biodiesel	0.91	6.17	-	-	0.95	6.17
Glicerol	0.07	0.46	0.77	0.14	0.05	0.32
Total	1.00	6.67	1.00	0.18	1.00	6.49

Un proceso adicional que se desarrolló es la activación del catalizador en un calcinador a 900°C. El reactor que se eligió para el diseño es un reactor de lecho fijo intermitente que cuenta con el empaque del catalizador en el lecho fijo y un tanque de agitación para mantener homogénea la mezcla, en este caso varían las ecuaciones

de diseño a las de un reactor de lecho fijo continuo y se describen a continuación. La cantidad de catalizador para el reactor de lecho fijo se calculó de la siguiente forma:

$$\tau = -\frac{1}{k}(1 - X_B) \quad (1)$$

$$V = \tau * \dot{V} \quad (2)$$

$$k' = \frac{k * V}{W'} \quad (3)$$

$$W = -\frac{\dot{V}}{k'} \ln(1 - X_B) \quad (4)$$

Los datos para las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) son:

τ = tiempo de residencia [min]

k = constante cinética [min^{-1}]

X_B = fracción molar de biodiesel

\dot{V} = Flujo volumétrico [m^3/min]

V = volumen del reactor [m^3]

k' = constante cinética [$\text{m}^3 * \text{min}/\text{kg}$]

W' = catalizador utilizada en el experimento de cada proceso [kg]

W = cantidad de catalizador [kg]

Tanto el volumen del reactor como los demás resultados se presentará más adelante para en la sección de diseño de proceso. Los resultados para la cantidad de

catalizador fue que de 181.75 kg del mismo y se utilizó este dato como base para el balance del calcinador.

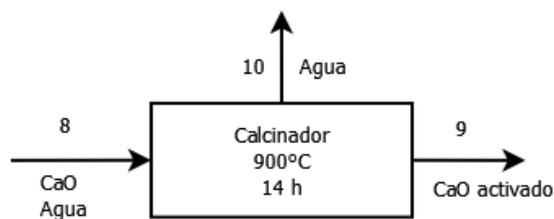


Figura 2. Diagrama calcinador.

Tabla 5. Balance calcinador proceso 1.

Corriente	8		9		10	
	Fracción másica	Cantidad [kg]	Fracción másica	Cantidad [kg]	Fracción másica	Cantidad [kg]
Óxido de calcio, CaO	0.99	181.75	1.00	181.75	-	-
Agua	0.01	1.84	-	-	1.00	1.84
Total	1.00	183.58	1.00	181.75	1.00	1.84

El calcinador es un proceso intermitente por lo que se realizó un diagrama de bloque fuera del proceso. En este estudio no se especifica la cantidad de ciclos que el catalizador puede cumplir sin que el rendimiento disminuya por lo que se asumió que es solamente 1.

El balance energético, detallado en el Anexo E, realizado en esta sección solamente incluye el consumo de energía de los equipos mencionados en cada proceso. Para el proceso 1 se tomó en cuenta el consumo energético del separador trifásico, el reactor de lecho fijo intermitente, el centrifugador y el calcinador con sus respectivas especificaciones. Los resultados para el proceso 1 se detallan a continuación.

Tabla 6. Balance energético proceso 1.

Equipo	Energía utilizada [kW]
Separador	15.90
Reactor	348,119.03
Centrífuga	30.00
Calcinador	120,042.63
Total	468,207.55

3.1.2. Proceso 2 propuesto por Ozkan.

En este caso se tuvo como base el estudio realizado por Ozkan, Puna, Gomes, Cabrita, Palmeira y Santos (Ozkan, y otros, 2019). El diagrama de bloque, Anexo E, propuesto para este proceso se detalla a continuación.

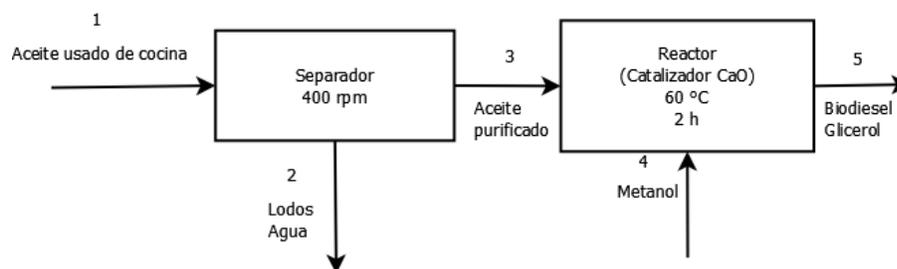


Figura 3. Diagrama de bloque para proceso 2 propuesto por Ozkan

Ozkan y asociados utilizaron como reactor un matraz de tres cuellos de 500 mililitros como reactor, un mezclador de doble aspa y un enfriador para evitar la evaporación del metanol durante la reacción (Ozkan, y otros, 2019). En este proceso no se debe utilizar el separador centrífugo ya que el rendimiento de la reacción es del 99.5% por lo que cumple con las normas de calidad de biodiesel descritas en el Anexo A.

El balance de masa para el separador del anterior estudio se considera también para este proceso pues los estudios se diferencian en las condiciones del reactor. En

este caso se utiliza una relación molar metanol : aceite 12:1 (Ozkan, y otros, 2019), con el que se realizó el balance masa del reactor para este proceso.

Tabla 7. Balance de masa reactor proceso 2 propuesto por Ozkan

Corrientes	3		4		5	
	Fracción Molar	Caudal [m3/h]	Fracción Molar	Caudal [m3/h]	Fracción Molar	Caudal [m3/h]
Aceite	0.98	2.06	-	-	-	-
Lodos	0.01	0.02	-	-	0.003	0.02
Agua	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.05
Metanol	-	-	0.99	3.06	-	-
Biodiesel	-	-	-	-	0.995	6.171
Glicerol	-	-	-	-	0.07	0.46
Total	1.00	2.10	1.00	3.09	1	6.70

Se utilizaron las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) para determinar la cantidad de catalizador necesario que es 125.79 kg, con esto se determina el balance del calcinador. El diagrama del calcinador es el mismo que el que se usó para el proceso 1.

Tabla 8. Balance calcinador proceso 2 propuesto por Ozkan.

Corrientes	8		9		10	
	Fracción másica	Cantidad [kg]	Fracción másica	Cantidad [kg]	Fracción másica	Cantidad [kg]
Óxido de calcio, CaO	0.99	125.79	1.00	125.79	-	-
Agua	0.01	1.27	-	-	1.00	1.27
Total	1.00	127.06	1.00	125.79	1.00	1.27

Con los datos calculados de los balances de masa se presenta el balance energético de los equipos con los que cuenta el proceso 2 que son el separador trifásico, el reactor de lecho fijo intermitente y el calcinador.

Tabla 9. Balance energético proceso 2 propuesto por Ozkan.

Equipo	Energía utilizada [kW]
Separador	15.90
Reactor	736,064.01
Calcinador	79,156.37
Total	815.236.29

3.1.3. Comparación de procesos.

En cuanto a la cantidad de equipos necesarios, el proceso 1 necesitará un equipo principal más que el proceso 2 ya que este último tiene un rendimiento mayor que el primero. Sin embargo, la cantidad de energía reflejada en el proceso 1, en la tabla 6, es mucho menor que la del proceso 2. Esto se debe a la energía que necesita el reactor para calentar la cantidad de reactivos y pueda llegar a la temperatura de reacción. El primer proceso necesita 100°C y el segundo 60°C, pero en las tablas 3 y 7 se presentan los valores del caudal de cada reactivo. En la tabla 3, del proceso 1, se necesita la mitad de metanol que necesitaría el proceso 2, tabla 7.

Otro factor a considerar del balance energético es el calcinador, en el proceso 1 utiliza mucha más energía que en el proceso 2 ya que el tiempo para el proceso 1 es mayor que para el proceso 2, pero, aunque sea mayor no es suficiente para que este iguale la cantidad de energía utilizada en el proceso 2 pues el reactor tiene una

magnitud mucho más alta. La cantidad de materia que se debe calentar es un factor que influye mucho en la cantidad de energía necesaria como se puede presenciar en los dos últimos casos. Cabe aclarar que los balances energéticos presentados en esta sección son aproximaciones pues faltan los de los equipos de agitación y bombas.

3.2. Diseño de la planta

En esta sección se desarrolla el diagrama de flujo para cada proceso con su respectiva simbología. El dimensionamiento de los tanques de agitación y almacenamiento se consideró para un lote completo, tomando en cuenta el tiempo de reacción. Para las dimensiones de las bombas centrífugas se consideraron los caudales presentados en los balances de masa. Para los diagramas de flujo se utilizó la metodología descrita en el Anexo F. El diseño de la planta de producción de biodiesel, de acuerdo al proceso propuesto por Vujicic (Vujicic, Zarubica, Micic, & Boskovic, 2010), se representa en la Figura 4. Diagrama de flujo del proceso 1.

El tanque de agitación TZ-100 contiene el aceite usado de cocina, consta de agitación porque no se deben sedimentar los lodos, de este proviene la corriente 1 que es la entrada al separador trifásico EC-100. El separador EC-100 tiene dos salidas, la corriente 2, que circula el agua hacia el tanque de almacenamiento TV-100 y la corriente 3, que circula el aceite purificado hacia el tanque de almacenamiento TV-101. Hasta este proceso no hay bombas centrífugas pues el separador trifásico realiza el trabajo necesario para mover estas corrientes.

El tanque de almacenamiento TV-102 contiene metanol. La corriente 3', nombrada así porque tiene la misma concentración que la corriente 3 pero está el TV-101 entre estas, fluye hacia el tanque de agitación TZ-101 impulsada por la bomba

centrífuga BA-100. La corriente 4 es impulsada hacia TZ-101 por la bomba centrífuga BA-101. El sistema para el reactor de lecho fijo intermitente consta de TZ-101 y el lecho fijo TR-100. La bomba centrífuga BA-102 impulsa la mezcla entre estos equipos y recircula hasta que se complete la reacción.

Una vez producido el biodiesel y la glicerina, la bomba BA-103 impulsa la mezcla, corriente 5, hacia el tanque de almacenamiento TV-103. La corriente 5', nombrada así por la misma razón que la corriente 3', es la entrada al centrifugador CFC-100 para separar la mezcla en dos corrientes. Las corrientes de salida de CFC-100 son 6 y 7. La corriente 6, biodiesel, es impulsada por CFC-100 hacia el tanque de almacenamiento TV-104 y la corriente 7, glicerina, es impulsada hacia el tanque de almacenamiento TV-105.

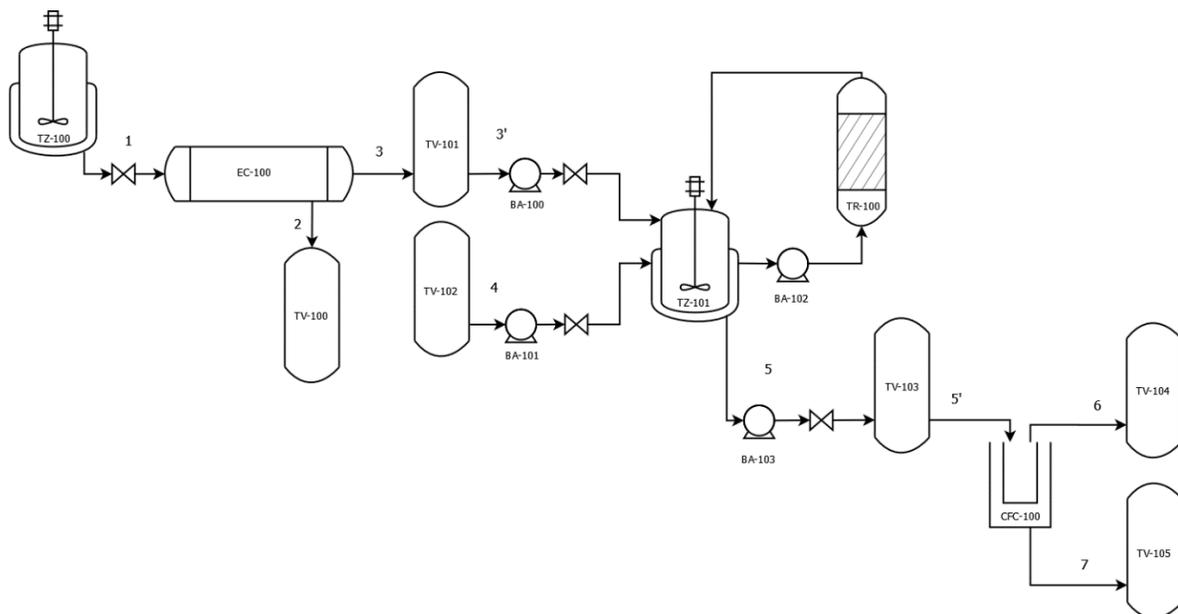


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso 1

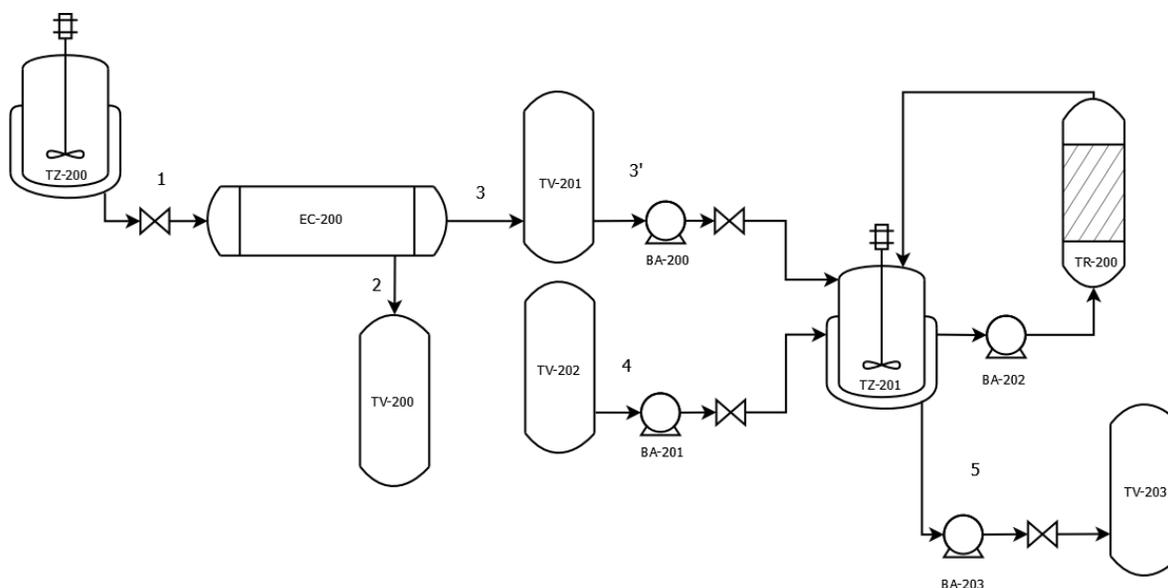


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso 2.

En la siguiente tabla se describe la simbología que representan los equipos de la Figura 4. Diagrama de flujo del proceso 1 y de la Figura 5. Diagrama de flujo del proceso 2.

Tabla 10. Simbología de la figura 4 y 5

Equipos	Simbología	Contenido
TZ-100 / TZ-200	Tanque de agitación	Aceite usado de cocina
EC-100 / EC-200	Separadora trifásica	Aceite usado de cocina
TV-100 / TV-200	Tanque de almacenamiento	Agua
TV-101 / TV-201	Tanque de almacenamiento	Aceite purificado
TV-102 / TV-202	Tanque de almacenamiento	Metanol
TZ-101 / TZ-201	Tanque de agitación	Mezcla de reacción
TR-100 / TR-200	Reactor	Mezcla de reacción
TV-103 / TV-203	Tanque de almacenamiento	Biodiesel y glicerol
CFC-100	Separadora centrífuga	Biodiesel y glicerol
TV-104	Tanque de almacenamiento	Biodiesel
TV-105	Tanque de almacenamiento	Glicerol
BA-100 a 103 / BA-200 a 203	Bombas centrífugas	-

Para el dimensionamiento de los equipos principales se utilizaron los criterios planteados por las Normas ASME BPVC sección VII división I, que están descritas en el libro de Diseño en Ingeniería Química de Sinnott y Towler (Sinnott & Towler, 2008).

Tanques de agitación

Para el dimensionamiento de los tanques de agitación se consideró un motor con propulsores que giren a 200 rpm para mantener las mezclas homogéneas. En los Anexos I y J se detalla la metodología usada.

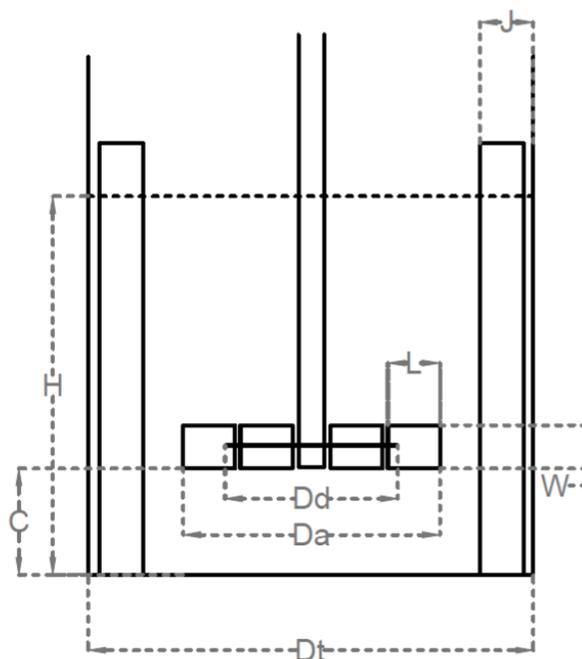


Figura 6. Parámetros de diseño de un tanque de agitación.

En la tabla 11 se describen los parámetros presentados en la figura 5 para el diseño del tanque de agitación.

Tabla 11. Resultados del dimensionamiento de los tanques de agitación para el proceso 1 y 2.

Dimensiones de los tanques de agitación						
Parámetro/Equipo	Abreviación	Unidades	Proceso 1		Proceso 2	
			TZ-100	TZ-101	TZ-200	TZ-201
Diámetro del tanque	Dt	[m]	1.978	2.769	1.836	2.574
Diámetro del impulsor	Da	[m]	0.989	1.385	0.918	1.287
Profundidad del líquido en el tanque	H	[m]	1.978	2.769	1.836	2.574
Distancia entre el impulsor y el fondo del tanque	C	[m]	0.659	0.923	0.612	0.858
Altura del rodete	W	[m]	0.198	0.277	0.184	0.257
Diámetro desde el eje al centro de la hélice	Dd	[m]	0.659	0.923	0.612	0.858
Longitud de las palas del mezclador	L	[m]	0.247	0.346	0.229	0.322
Anchura de los deflectores	J	[m]	0.165	0.231	0.153	0.215
Volumen total	Vtot	[m ³]	8.100	22.233	5.280	14.560
Altura total	Htot	[m]	2.637	3.692	2.448	3.433
Espesor del cilindro	tcil	[m]	0.002	0.003	0.001	0.002
Espesor de cabeza	tcab	[m]	0.001	0.001	0.001	0.001

Tanques de almacenamiento

Utilizando la metodología descrita en los Anexos I y J se calculan las dimensiones de los tanques de almacenamiento.

Tabla 12. Parámetros para el diseño de los tanques de almacenamiento para el proceso 1.

Dimensiones de los tanques de almacenamiento								
Parámetros/ Equipos	Abrev.	Unid.	Proceso 1					
			TV-100	TV-101	TV-102	TV-103	TV-104	TV-105
Caudal	Q	[m ³ /h]	0.3310	2.1000	1.5400	6.6700	6.4900	0.1800
Tiempo	t	[h]	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000
Diámetro	D	[m]	1.0176	1.8837	1.6987	2.7690	2.7439	0.8306
Altura mezcla	H	[m]	1.0176	1.8837	1.6987	2.7690	2.7439	0.8306
Altura cabeza	hcab	[m]	0.2544	0.4709	0.4247	0.6923	0.6860	0.2076
Altura total	Htot	[m]	1.2719	2.3547	2.1234	3.4613	3.4298	1.0382
Volumen cilindro	Vcil	[m ³]	0.8275	5.2500	3.8500	16.6750	16.2250	0.4500
Volumen cabeza	Vcab	[m ³]	0.1379	0.8750	0.6417	2.7792	2.7042	0.0750
Volumen total	Vtot	[m]	1.1033	7.0000	5.1333	22.,2333	21.6333	0.6000
Espesor cilindro	tcil	[m]	0.0005	0.0015	0.0011	0.0033	0.0032	0.0004
Espesor cabeza	tcab	[m]	0.0005	0.0009	0.0009	0.0014	0.0014	0.0004

Tabla 13. Parámetros para el diseño de los tanques de almacenamiento para el proceso 2

Dimensiones de los tanques de almacenamiento						
Parámetros/ Equipos	Abrevi.	Unid.	Proceso 2			
			TV-200	TV-201	TV-202	TV-203
Caudal	Q	[m ³ /h]	0.3313	2.1000	1.5400	6.6700
Tiempo	t	[h]	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
Diámetro	D	[m]	0.9449	1.7487	1.5770	2.5705
Altura mezcla	H	[m]	0.9449	1.7487	1.5770	2.5705
Altura cabeza	hcab	[m]	0.2362	0.4372	0.3942	0.6426
Altura total	Htot	[m]	1.4174	2.1859	1.9712	3.2132
Volumen cilindro	Vcil	[m ³]	0.6627	4.2000	3.0800	13.3400
Volumen cabeza	Vcab	[m ³]	0.1104	0.7000	0.5133	2.2233
Volumen total	Vtot	[m ³]	0.8836	5.6000	4.1067	17.7867
Espesor cilindro	tcil	[m]	0.0004	0.0013	0.0009	0.0028
Espesor cabeza	tcab	[m]	0.0005	0.0009	0.0008	0.0013

Bombas centrífugas

Para determinar la potencia que necesitan las bombas presentes en el diagrama de flujo se utilizó la metodología del Anexo K y los resultados se presentan a continuación.

Tabla 14. Parámetros para el diseño de las bombas centrífugas para el proceso 1.

Parámetros	Abrev.	Unid.	Proceso 1				Proceso 2			
			BA-100	BA-101	BA-102	BA-103	BA-200	BA-201	BA-202	BA-203
Punto a	-	-	TV-101	TV-102	TZ-101	TZ-101	TV-201	TV-202	TZ-201	TZ-201
Punto b	-	-	TZ-101	TZ-101	TR-100	TV-103	TZ-201	TZ-201	TR-200	TV-203
Altura de a	H _a	[m]	1.88	1.70	2.77	2.77	1.75	1.58	2.57	2.57
Altura de b	H _b	[m]	2.77	2.77	3.27	2.77	2.57	2.57	3.07	2.57
Diámetro óptimo de tubería	D _o	[m]	0.02	0.001	0.04	0.19	0.02	0.001	0.04	0.19
Velocidad media	v	[m/s]	2.09	11.40	1.96	0.06	2.09	23.19	1.97	0.06
Trabajo de la bomba	W _b	[J/kg]	68.82	72.69	6.54	6.54	63.62	345.49	6.54	6.59
Potencia de la bomba	P	[kW]	0.03	0.03	0.01	0.01	0.03	0.25	0.01	0.01

Reactor

Se dimensiona el reactor utilizando las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) mencionadas en la sección 21. Los resultados se detallan a continuación.

Tabla 15. Parámetros de diseño para el reactor de lecho fijo intermitente para el proceso 1 propuesto por Vujicic.

Datos	Proceso 1	Proceso 2
Constante Cinética, k, [min ⁻¹]	0.14	0.0036
Tiempo de reacción, t, [min]	150	120
Fracción molar final biodiesel, X _B	0.91	0.99
Caudal de alimentación, \dot{V} [m ³ /min]	0.061	0.09
Tiempo de residencia, τ [min]	17.20	1.471.75
Volumen de reactor, V [m ³]	1.04	125.79
Cantidad de catalizador, W [kg]	181.75	183.54

El esquema del reactor para el proceso 1 se detalla a continuación.

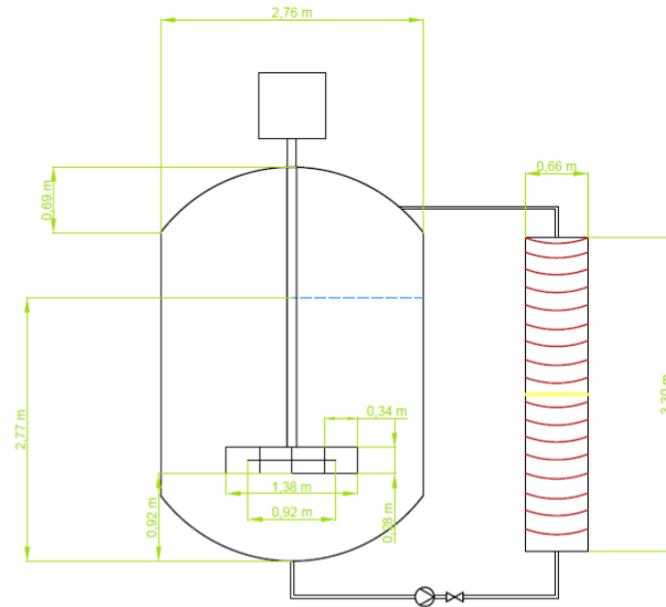


Figura 7. Esquema del reactor para el proceso 1 propuesto por Vujicic.

La Figura 7. Esquema del reactor para el proceso 1 propuesto por Vujicic. está constituida por el reactor y el tanque de agitación TV-101. El tanque tiene un volumen mayor ya que se diseñó para contener el volumen de producto para una reacción de 2,5 horas. El reactor tiene un volumen menor en relación al tanque de agitación y su tiempo de residencia es de 17.20 minutos. El color rojo está representado por la niquelina para aumentar la temperatura, el amarillo es el volumen ocupador por el catalizador y el color azul es el nivel del líquido en el reactor. Para determinar las dimensiones del reactor se ha definido que la altura del reactor es 5 veces el diámetro.

El diseño del reactor para el proceso 2 se debe considerar ya que el volumen del reactor es muy alto. Las opciones para el diseño es que sean reactores en serie para que se cumpla con el tiempo de residencia, pero se deben considerar el aumento de tanques de agitación para que la reacción permanezca homogénea y se pueda realizar la

reacción. Los valores del tiempo de residencia y del volumen del reactor son altos ya que la constante cinética es mucho más baja que la de la constante cinética que el proceso 1. Otra razón por la que el volumen es tan alto es porque la cantidad de metanol utilizado en este proceso es el doble que para el primero.

3.3. Análisis económico

A diferencia de cómo se realizó en secciones anteriores, esta presenta los resultados de los dos procesos en una misma tabla para compararlos. Se determinó el costo de cada equipo con una cotización de diferentes proveedores como se muestra a continuación.

Tabla 16. Costo por equipo de cada proceso.

Proceso 1			Proceso 2		
Equipo	Unid.	Costo [\$]	Equipo	Unid.	Costo [\$]
TZ-100	[\$]	5,000.00	TZ-200	[\$]	5,000.00
EC-100	[\$]	40,000.00	EC-200	[\$]	40,000.00
TV-100	[\$]	2,961.92	TV-200	[\$]	2,750.30
TV-101	[\$]	8,637.27	TV-201	[\$]	8,637.27
TV-102	[\$]	6,838.48	TV-202	[\$]	6,838.48
TZ-101	[\$]	5,000.00	TZ-201	[\$]	5,000.00
TR-100	[\$]	59,130.00	TR-200	[\$]	59,130.00
TV-103	[\$]	22,230.00	TV-203	[\$]	23,287.37
TV-104	[\$]	21,630.00	Calcinador	[\$]	2000
TV-105	[\$]	600.00	-	[\$]	-
Calcinador	[\$]	2,000.00	-	[\$]	-
Suma de costos, Ce	[\$]	174,027.68	Suma de costos, Ce	[\$]	152,643.43

Utilizando los datos de la tabla 16 se utilizan el método de Lang y el método factorial detallado para determinar el ISBL (Sinnott & Towler, 2008).

Tabla 17. Comparación de costos ISBL de los procesos.

ISBL			
Método	Unidades	Proceso 1	Proceso 2
Factores de Lang	[\$]	791,507.82	554,095.64
Factorial detallado	[\$]	174,027.68	152,643.43

Los costos ISBL consideran el costo de equipos; artículos a granel, como tuberías, instrumentos, estructuras, entre otros; trabajos civiles; trabajos de instalación y supervisión; costos de construcción como renta de equipos, construcciones y equipos temporales, entre otros; todos los procesos que incluyan ayuden a construir la nueva planta, directa o indirectamente. (Sinnott & Towler, 2008)

Para el cálculo del costo OSBL y capital fijo se utilizó el método factorial detallado ya que esta toma en cuenta diferentes factores para la estimación de equipos (f_{er}), tuberías (f_p), trabajos civiles (f_c), trabajos eléctricos (f_{el}), estructuras y edificios (f_s), instrumentación y control (f_i) y de retraso y pintura (f_i). Se utiliza la metodología descrita en el Anexo M.

Tabla 18. Costos de cada proceso.

Costos	Unidades	Proceso 1	Proceso 2
OSBL	[\$]	52,208.30	45,793.03
Costo de capital fijo	[\$]	316,730.37	277,811.04

Los costos OSBL incluyen los costos que se deben incluir en la infraestructura de la planta como subestaciones eléctricas, plantas de generación de energía, torres

de enfriamiento, entre otros. El capital fijo es el costo total del diseño, construcción e instalación y las modificaciones asociadas (Sinnott & Towler, 2008). La tabla 17 refleja que los costos del proceso 2 son menores que los del proceso 1, esto se debe a que la cantidad de equipos que se necesitan para el proceso 2 son menores que los que se necesitan para el 1. Se calculó el costo de producción por materia prima, el costo energético de cada proceso, salario empleados que cumplan como operarios y administrativo, los que representan los costos variables, y el resultado es:

Tabla 19. Costo de producción.

Costo de producción	Unidades	Proceso 1	Proceso 2
Costo de biodiesel por materia prima	[\$/gal]	2.89	5.69
Costo energético de biodiesel	[\$/gal]	0.09	0.10
Costo de producción	[\$/gal]	2.99	5.79

Se trabaja en galones ya que esta va a ser la presentación de venta. Se compara el valor de producción de los procesos y el segundo se aproxima al doble del valor del primer proceso. El valor internacional del biodiesel es 3.72 \$/galón, pero el segundo proceso excede este valor por lo que se descarta ya que no podría generar competencia con otras empresas ni ganancias. Se atribuye este costo a la alta cantidad de metanol que se utiliza para el proceso 2, se utiliza el doble que en el proceso 1 por su relación molar. Para los cálculos siguientes se eligió el proceso 1 ya que es el único que podría generar ganancias. Las ganancias que se obtendrán es la suma de las ventas del biodiesel y la glicerina que es el subproducto. Se observa en la siguiente tabla.

Tabla 20. Ganancia neta.

Ganancia Neta		
Biodiesel	Unidades	Valor
Precio de venta	[\$/gal]	3.72
Ganancia	[\$/gal]	0.73
Ganancia por mes	[\$/mes]	310,081.21
Glicerina		
Precio de venta	[\$/kg]	0.1
Ganancia por mes	[\$/mes]	5,301.55
Ganancia Total	[\$/mes]	315,382.76

Se considera como ganancia neta solo a la ganancia de la venta de los productos porque el gobierno libra de impuestos por 12 años a empresas que producen energía limpia (Asociación Ecuatoriana de Energías Renovables y Eficiencia Energética, 2019). El capital de trabajo es la cantidad de dinero adicional que se necesitaría para que la planta empiece a funcionar y se determina a continuación.

Tabla 21. Costos de capital de trabajo

Capital de trabajo	Unidades	Valor
Dos semanas de materia prima	[\$]	614,824.60
Dos semanas de costo de producción	[\$]	631,528.35
Una semana de dinero de reserva	[\$]	315,764.18
Un mes de cuentas no pagadas	[\$]	1.263,056.71
Un mes por créditos de cuentas por pagar	[\$]	1.229,649.19
Inventario de repuestos, 2% del ISBL+OSBL	[\$]	4,524.72
Total	[\$]	4.059,347.74

Se determinó el tiempo de retorno de inversión y se detalla a continuación.

Tabla 22. Tiempo de retorno.

Cálculo de tiempo de retorno	Unidades	Valor
Capital fijo	[\$]	316,730.37
Capital de trabajo	[\$]	4.059,347.74
Costos de producción de un año	[\$]	14.680,587.75
Inversión total	[\$]	19.056,665.86
Ganancia total de un año	[\$]	3.784,593.18
Tiempo de retorno	[años]	5.04

La inversión total es la suma del capital fijo total, el capital de trabajo y un año de costos de producción. El resultado fue que en un poco más de 5 años se recuperará la inversión total. Una vez elegido el proceso se detallarán los costos variables y el costo fijo total.

Tabla 23. Costos variables.

Costos variables	Unidades	Valor
Aceite de cocina usado	[\$/mes]	50,368.22
Metanol	[\$/mes]	1.168,826.58
Catalizador, CaO	[\$/mes]	4,187.52
Sueldo Administrativo	[\$/mes]	416.30
Sueldo 2 operarios	[\$/mes]	870.24
Total	[\$/mes]	1.224,668.85

Para los costos fijos se han tomado en cuenta materia prima utilizada por un mes de producción y el sueldo de dos operarios y un administrador.

Tabla 24. Costo fijo total.

Costo fijo total	Unidades	Valor
Labor operativo	[\$]	870.24
Supervisión	[\$]	217.56
Mantenimiento	[\$]	5,220.83
Alquiler del terreno	[\$]	2,262.36
Gastos generales de la planta	[\$]	5,786.49
Seguro	[\$]	3,480.55

El capital fijo presentado en la tabla 19 se calculó con la metodología detallada en el Anexo N y los datos de la tabla 25 no cubren todos los que abarca dicha estimación ya que no se está tomando en cuenta algunos costos como de venta y marketing, licencias, investigación y desarrollo, entre otros. Estos no se toman en cuenta ya que cambian según el mercado y el tipo de planta.

Se observa que el costo ISBL es bajo a comparación de otros costos ya que en los variables y el capital de trabajo toman en cuenta el costo del metanol que es la materia prima con el precio más alto, pero en el ISBL no. La reacción necesita un exceso de metanol para que se obtenga el mayor rendimiento posible por lo que es un factor que no se puede minorar. Los otros precios se establecieron con los proveedores más económicos. Las estimaciones que se hicieron en las tablas 19, 24 y 25 se realizaron con la metodología descrita en el libro de Sinnott por lo que toman en cuenta factores que en este caso no se tomarían. Las estimaciones por impuestos y cargos medio ambientales no se aplican por lo que las estimaciones de Sinnott podrían ser mayores que el costo real.

Este proceso es rentable a comparación del proceso de catálisis homogénea que utiliza agua para purificar el biodiesel producido. Sin embargo, el proceso que

utiliza catalizadores homogéneos tiene un costo de producción menor de \$2.43 y el precio de venta es de \$3.04, menor al que se utilizó (Reinoso, San Martín, & Masache, 2014). Este proceso se realizó en Ecuador en la provincia de Guayas por lo que se aproxima a los costos de producción de biodiesel. Una diferencia entre los estudios es que en este caso se tomó en cuenta un valor de compra del aceite usado de cocina y el separador para obtener aceite purificado.

4. Conclusiones

En la sección de diseño del proceso se observó que, para cumplir la normativa ecuatoriana, se implementó tres equipos más en el proceso 1 por lo que su rendimiento es de 91% y se necesita del 95%. Otro punto importante de esta sección es que la cantidad de energía consumida para el proceso 2 es mayor que para el proceso 1. Esto se debe a que la cantidad de metanol necesaria es el doble que para el proceso 1, aunque la temperatura y tiempo de reacción son mayores y se utiliza una mayor cantidad de equipos del primero. La alta relación molar metanol: aceite del proceso 2 aumentó el rendimiento, lo que causó el uso de una menor cantidad de equipos, sin embargo, de igual manera aumentó la cantidad de energía necesaria para el reactor.

En el diseño de la planta, los tanques de agitación, almacenamiento y las bombas no tienen una diferencia significativa entre ambos procesos. Pero en el diseño del reactor se determinaron dos parámetros que influyeron en su volumen, el primero es la relación molar metanol: aceite, de la que se detalló anteriormente, y la constante cinética. Se observó que mientras menor sea la constante cinética, el volumen del reactor será mayor, como es el caso del proceso 2. En este caso, si se quiere

implementar el proceso 2, se debería replantear el tipo de reactor que se utilice por su volumen alto. Se podría considerar el uso de lechos fijos en serie y aumentando la cantidad de tanques de agitación para mantener homogénea la mezcla. En este caso se podría igualar o superar la cantidad de equipos que utiliza el proceso 1.

En el análisis económico se pudo definir el proceso más viable y rentable entre los dos. Al determinar el costo de los equipos y de inversión se observó que este sería mayor para el proceso 1 ya que cuenta con una mayor cantidad de equipos. Sin embargo, el costo de la materia prima fue decisivo para determinar que el proceso 1 es el menos costoso ya que la cantidad de metanol que se utiliza en el segundo es alta y es el reactivo con un mayor costo. El costo de producción del proceso 2 no podría generar competitividad en el mercado, aunque el costo de inversión de la planta propuesta sea menor.

En conclusión, el proceso 1 tiene una mayor rentabilidad y, por su tiempo de retorno, se puede considerar viable ya que no sobrepasa los 10 años. El proceso 2 tiene varias ventajas durante el diseño de proceso y de planta, pero su costo no generaría ningún tipo de ganancias por lo que no se podría considerar la implementación de una planta piloto usando dicho proceso. El incentivo del gobierno de exentar de impuestos a proyectos de energía renovable ayudó a disminuir el tiempo de retorno y aumentar su viabilidad. Se lograron los objetivos planteados para ambos procesos y se consiguió desarrollar un proceso que rentable que utilice un reactor de lecho fijo utilizando catalizadores heterogéneos.

5. Referencias

- Acosta, P. (14 de Diciembre de 2018). *Preparación de catalizadores basados en calcio y pectina para la síntesis de biodiesel*. Quito: USFQ.
- ARCH. (23 de Agosto de 2013). Obtenido de Norma para el manejo y control del biodiesel: <https://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/MARCO-LEGAL-2016/Registro-Oficial-Edicio%CC%81n-Especial-43-Res.-ARCH-4.pdf>
- Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador (AIHE). (2018). Distribución geográfica del consumo anual de gasolina y diésel por provincia 2017. *El petróleo en cifras 2017*, 36.
- Asociación Ecuatoriana de Energías Renovables y Eficiencia Energética. (22 de Agosto de 2019). Obtenido de Energía renovable no convencional e incentivos tributarios : <http://aeeree.org/ernst-aromo-y-villonaco-ii-y-iii-video/>
- Banco Mundial & Institute for Health Metrics and Evaluation Universidad de Washington, Seattle. (2016). El costo de la contaminación atmosférica. *Grupo del Banco Mundial*.
- Baroutian, S., Aroua, M., Raman, A., & Sulaiman, N. (2011). A packed bed membrane reactor for production of biodiesel using activated carbon supported catalyst. *Bioresource Technology*, 1095-1102.
- Borbor, V., & Velasteguí, J. (2017). *Caracterización de mezclas de diésel-biodiesel a diferentes proporciones con el fin de minimizar impactos ambientales generados por el consumo de combustibles fósiles*. Obtenido de ESPOL: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/128413/D-CD102919.pdf>

- Cabello, C., Rincón, S., & Zepeda, A. (2017). Catalizadores heterogéneos utilizados para la obtención de biodiesel. *Afinidad*, 51-59.
- Chen, Y., Xiao, B., Chang, J., Fu, Y., Lv, P., & Wang, X. (2010). Synthesis of biodiesel from waste cooking oil using immobilized lipase in fixed bed reactor. *Energy conversion and management*, 668-673.
- Chiriboga, E. (2018). Creación de la campaña socioambiental: "Si fríes no la friegues; recicla". *USFQ*.
- EIA. Energy Information Administration. (25 de Octubre de 2019). *Biomass and the environment*. Obtenido de <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/biomass-and-the-environment.php>
- EIA. Energy Information Administration. (21 de Junio de 2018). *Biomass - renewable energy from plants and animals*. Obtenido de <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/>
- Elkady, M., Zaatout, A., & Balbaa, O. (2015). Production of Biodiesel from Waste Vegetable Oil via KM Micromixer. *Journal of Chemistry*, 1-9.
- Espín, A. (2012). *Aceites usados: aceites usados en San Critóbal*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Hanisak, K., Kumar, S., & Tajul, A. (2013). The Manegement of Waste Cooking Oil: A Priliminary Survey. *Health and the Environment Journal*, 76-81.
- Himmelblau, D., & Riggs, J. (2012). *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*. Michigan: Pearson.

- Jefatura corporativa de planificación. (Febrero de 2018). *Informe Estadístico enero 2018*.
Obtenido de Petroecuador: <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/02/INFORME-ESTADISTICO-ENERO-2018-V1-23-02-2018.pdf>
- Kawentar, W., & Budiman, A. (2013). Synthesis of biodiesel from second - used cooking oil. *Energy Procedia*, 190-199.
- Kiamineshi, H., Abbaspuor-Aghdam, F., & Derakhshan, M. (2017). Biodiesel production from vegetable oil: Process design, evaluation and optimization. *Polish Journal of Chemical Technology*, 49-55.
- Levenspiel, O. (2004). *Ingeniería de las reacciones químicas*. Ciudad de México: Limusa Wiley.
- Mazaheri, H., Chyuan, H., Masjuki, H., Amini, Z., Harrison, M., Ching-TsanWang, . . . Alwi, A. (2017). Rice bran oil biodiesel production using calcium oxide derived from *Chicoreus brunneus* shell. *Energy*. doi: 10.1016/j.energy.2017.11.073
- Mazaheri, H., Ong, H., Masjuki, H., Amini, Z., Harrison, M., TsanWang, C., . . . Alwi, A. (2017). Rice brain based biodiesel production using calcium oxide catalyst derived from *Chicoreus brunneus* shell. *Energy*.
- McCabe, W., Smith, J., & Harriot, P. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. Ciudad de México: McGraw-Hill.
- Nasir, N., Daud, W., Kamarudin, S., & Yaakob, Z. (2013). Process system engineering in biodiesel production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 631-639.

- Organización de las Naciones Unidas. (2019). *Las ciudades y la contaminación contribuyen al cambio climático*. ONU.
- Ozkan, S., Puna, J., Gomes, J., Cabrita, T., Palmeira, J., & Santo, M. (2019). Preliminary study on the use of biodiesel obtained from waste vegetable pils for blending with hydritreated kerosene fossil fuel sing calcium oxide (CaO) from natural waste materials as heterogeneous catalyst. *Energies*, 1-19.
- Paredes, V. (Julio de 2015). *Estado del desarrollo de biocombustibles en el Ecuador*. Obtenido de OLADE: <http://www.olade.org/wp-content/uploads/2015/06/3-VICTOR-PAREDES-ESTADO-DEL-DESARROLLO-DE-BIOCOMBUSTIBLES-EN-EL-ECUADOR-.pdf>
- Reinoso, M., San Martín, J., & Masache, J. (2014). Estudio para la elaboración a nivel industrial del acopio de los residuos de aceite doméstico en la ciudad de Milagro. *Revista Tecnológica ESPOL*, 120-129.
- Rouhany, M., & Montgomery, H. (2018). Global Biodiesel Production: The state of the Art and Impact on Climate Change. *Biofuel and Biorefinery Tehcnologies*, 1-14.
- Seider, W., Seader, J., & Lewin, D. (2004). *Preocess Design Principles: Synthesis, Analysis, and Evaluation*. New York: Wiley.
- Singh, A., & Fernando, S. (2007). Reaction kinetics of soybean oil transesterification using heterogeneous metal oxide catalysis. *Chemical Engineering Technology*, 30(12), 1716-1720.
- Sinnott, R., & Towler, G. (2008). *Chemical Engineering Desgin*. California: Elseiver.

- Ubalua, A. (2011). Bioremediation strategies for oil polluted marine ecosystem. *Australian Journal of Agricultural Engineering*, 160-168.
- Vujcic, D., Zarubica, A., Micic, R., & Boskovic, G. (2010). Kinetics of biodiesel synthesis from sunflower oil over CaO heterogeneous catalyst. *Fuel*, 89(2010), 2054-2061.
- Wang, Y., Zhang, M., & Ding, X. (2017). Biodiesel production from soybean oil using modified calcium loaded on rice husk activated carbon as a low-cost basic catalyst. *Separation science and technology*, 1-7.
- Wilson, K., & Lee, A. (2010). Rational design of heterogeneous catalyst for biodiesel synthesis. *Catalysis Science and Technology*, 884-897.

ANEXOS

Anexo A: Norma para el manejo y control del Biodiesel

NORMA PARA EL MANEJO Y CONTROL DEL BIODIESEL

Resolución de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero 4

Registro Oficial Edición Especial 43 de 23-ago.-2013

Estado: Vigente

EL DIRECTORIO DE LA AGENCIA DE REGULACION Y

CONTROL HIDROCARBURIFERO,

Que la Sección segunda, Ambiente Sano de la Constitución de la República del Ecuador, publicada en el Registro Oficial No. 449 de 20 de octubre de 2008 , reconoce el derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, promoviendo el uso de tecnologías ambientalmente limpias y energías alternativas, en concordancia con los artículos 413 que expresa: "El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua"; y, 414 que manifiesta "El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo";

Que el artículo 313 de la Carta Magna, establece que, los recursos naturales no renovables se consideran sectores estratégicos, respecto de los cuales "el Estado se reserva el derecho de

administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. Los sectores estratégicos de decisión y control exclusivo del Estado, son aquellos que por su trascendencia y magnitud tienen decisiva influencia económica, social, política o ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social";

Que el artículo 11 de la Ley de Hidrocarburos, reformada, crea la "(...) Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, ARCH, como organismo técnico-administrativo, encargado de regular, controlar y fiscalizar las actividades técnicas y operacionales en las diferentes fases de la industria hidrocarburífera, (...)", que tiene como atribución regular, controlar y fiscalizar las operaciones de exploración, explotación, industrialización, refinación, transporte y comercialización de hidrocarburos;

Que el párrafo segundo del artículo 9 de la Ley ibídem, dispone: "(...) La industria petrolera es una actividad altamente especializada, por lo que será normada por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero. Esta normatividad comprenderá lo concerniente a la prospección, exploración, explotación, refinación, industrialización, almacenamiento, transporte y comercialización de los hidrocarburos y de sus derivados, en el ámbito de su competencia";

Que el artículo 68 de la Ley de Hidrocarburos dispone: "El almacenamiento, distribución y venta al público en el país, o una de estas actividades, de los derivados de hidrocarburos serán realizados por PETROECUADOR o por personas naturales o empresas nacionales o extranjeras de reconocida competencia en esta materia y legalmente establecidas en el país, para lo cual podrán adquirir tales derivados ya sea en plantas refinadoras establecidas en el país o importarlos. En todo caso, tales personas y empresas deberán sujetarse a los requisitos

técnicos, normas de calidad, protección ambiental y control que fije la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, con el fin de garantizar un óptimo y permanente servicio al consumidor (...);

Que el artículo innumerado 1 agregado por el artículo 5 a continuación del artículo 78 de la Ley de hidrocarburos por la Ley Reformatoria a la Ley de Hidrocarburos y al Código Penal, dispone: "Para efectos de la aplicación de esta Ley, son sujetos de control quienes realicen actividades de abastecimiento, envasado, comercialización, distribución, almacenamiento, transporte, industrialización e importación de combustibles líquidos derivados de hidrocarburos, incluido el gas licuado de petróleo y los biocombustibles";

Que el artículo 67 del Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador, establece que, en la producción de combustible, la calidad podrá ser mejorada mediante la incorporación de aditivos en refinería y/o terminales; y, se preferirá y fomentará la producción y uso de aditivos oxigenados, tal como el etanol anhidro, a partir de materia prima renovable;

Que mediante Acuerdo Ministerial No. 135, publicado en el Registro Oficial No. 123 de 4 de febrero del 2010 , se expide el Reglamento para la autorización de actividades de comercialización de mezclas de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos con biocombustibles;

Que el Decreto Ejecutivo No. 1303, publicado en el Registro Oficial Suplemento No. 799 de 28 de septiembre de 2012 , declara de interés nacional el desarrollo de biocombustibles en el país; el combustible Diesel Premium que se utilice en el país debe contener Biodiesel de

origen vegetal de producción nacional; y, dispone que la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, expida la normativa correspondiente;

Que es necesario normar la calidad del biodiesel y la mezcla con diesel Premium, el transporte, almacenamiento, recepción y mezcla, distribución y comercialización en toda la cadena productiva; y,

EN EJERCICIO de la facultad que le confieren los artículos 9 de la Ley de Hidrocarburos, 21 (número 1) del Reglamento de Aplicación de la Ley Reformatoria a la Ley de Hidrocarburos, expedido mediante Decreto Ejecutivo No. 546, publicado en el Registro Oficial No. 330 de 29 de noviembre del 2010 , y 14 (letra b.) del Estatuto Orgánico de Gestión Organizacional por Procesos de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero.

Resuelve:

Expedir la Norma para el Manejo y Control del Biodiesel (B100) y la Mezcla Diesel Premium Biodiesel (Diesel Premium).

Capítulo I

Del Objeto y Definiciones

Art. 1.- Objeto.- La presente norma establece los requisitos técnicos y operacionales para la mezcla del Diesel Premium-Biodiesel (Diesel Premium), su almacenamiento, transporte, distribución y comercialización, así como también del Biodiesel puro (B100), conforme a las normas y especificaciones de calidad vigentes.

Art. 2.- Definiciones.-

Aceite Vegetal.- Es aquel obtenido a partir de plantas oleaginosas mediante procesos de presión u otros procedimientos, crudo o refinado, el cual puede ser usado como combustible cuando sea compatible con el tipo de motor y las exigencias correspondientes en materia de emisiones.

Grasa Animal.- Es aquella obtenida de tejidos adiposos de animales mediante procesos térmicos, extracción u otros.

Biodiesel.- Es un combustible compuesto de mezclas de esteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadenas de carbonos medias y largas, derivados de aceites vegetales o grasas animales

Biodiesel BX: Denominación de la mezcla entre Diesel y Biodiesel, la "X" determina la concentración porcentual de biodiesel en la mezcla, como por ejemplo B10 significa que la mezcla tiene 10 % de biodiesel.

Biodiesel B100: Se denomina al biodiesel puro, sin porcentaje de Diesel del petróleo en la mezcla.

Diesel Premium oxigenado con Biodiesel: Es la mezcla del diesel premium con un biodiesel en determinada proporción, cumpliendo características técnicas.

Diesel Premium.- Es un combustible constituido por una mezcla de hidrocarburos (C12 - C25) derivado del petróleo de bajo contenido de azufre, obtenido de varios procesos de las refinerías.

Punto de Nube (Enturbiamiento).- Es la temperatura a la cual comienza aparecer los primeros cristales en forma de nube en el líquido cuando es enfriado a ciertas condiciones de temperatura.

Capítulo II

Del Almacenamiento y Transporte del Biodiesel B100.

Art. 3.- Almacenamiento Terrestre de Biodiesel B100.- Los tanques de almacenamiento de Biodiesel B100 deberán cumplir con las siguientes especificaciones técnicas:

- a. Los tanques deben ser de material acero al carbono de techo fijo, cilíndrico verticales y con recubrimiento interno compatible a las características físico químicas del producto a ser almacenado.
- b. Los nuevos tanques deben diseñarse para que el fondo tenga una inclinación de 3 grados frente al nivel 0 o tener fondo cónico invertido, para facilitar un óptimo drenaje. Con el fin de evitar derrames se recomienda el uso de conexiones antiderrames, y se debe usar en estos casos cubetos móviles para contención de derrames en maniobras de carga y descarga.

Para cada instalación, la capacidad total de almacenamiento, así como el tamaño y el número de tanques, dependerá del volumen y frecuencia de la recepción de los productos, de las frecuencias de rotación y del número de productos o mezclas diferentes que se manipulen, etc.

Para mantener el tanque libre de humedad, los sujetos de control deben instalar filtros desecantes con filtración de aire de una micra en los respiraderos que eviten el ingreso de humedad, de bacterias, hongos, algas, causantes de la degradación del biodiesel y partículas no mayores de una micra.

Para el control de contaminación en el almacenamiento de Biodiesel, los sujetos de control deben realizar lo siguiente:

- a. Drenar y limpiar como mínimo cada seis meses el fondo del tanque para garantizar que no haya acumulación de sedimentos y de agua libre. Esta periodicidad la debe ajustar cada operador en el sitio de almacenamiento o planta, de acuerdo a las cantidades de agua encontradas en la operación, buscando asegurar mantener los fondos de los tanques libres de agua y sedimentos.
- b. Todo depósito de combustible oxigenado (Biodiesel BX) debe tener succión flotante para evitar el arrastre de sedimentos y conexiones anti derrame para carga y descarga.
- c. Todo tanque de almacenamiento de combustible oxigenado (Biodiesel BX) debe contar con filtración micrónica y coalescente-separadora para carga y descarga (recepción y despacho) especificada para esta aplicación.
- d. Se debe utilizar biocidas que estén especificados para el uso en Biodiesel (Biodiesel BX), que permitan eliminar o prevenir el crecimiento bacteriano de hongos, reacciones orgánicas y que además contengan inhibidores de la corrosión.

Art. 4.- Transporte y Almacenamiento en buque-tanques.- Para el almacenamiento de Biodiesel B100, se deberá:

- a. Los tanques deben estar contruidos con materiales que no alteren la calidad del producto, tales como acero inoxidable, y utilizar revestimientos compatibles y que no reaccionen con el biodiesel B100.

Los tanques de los buques antes de cargar el producto, deberán ser inspeccionados, y en caso de que se comprobare daños en el sistema de carga u otros deberán ser reparados.

Los buque tanque deberán someterse a un proceso de lavado previo a cada embarque con Biodiesel B100, el sujeto de control debe certificar que las cisternas estén limpias, secos y

libres de materiales extraños (sedimentos y agua) para que pueda transportar el producto, y en caso de que en las instalaciones se encontrare residuos como productos alimenticios, aceites, gasolina, lubricantes, entre otros, no será objeto de carga, de cuyo particular el sujeto de control comunicará a la entidad de control y comprador del producto.

Para evitar el ingreso de humedad y contaminantes sólidos en el biodiesel transportado y almacenado en buquetanques, estos deben disponer de filtros desecantes de aire de una micra en los respiraderos o tener dispositivos para rociar y cubrir su superficie interior con gas inerte de una pureza mayor o igual a 95%.

Art. 5.- Transporte Terrestre Biodiesel B100.- Para el transporte por vía terrestre de Biodiesel B100:

- a. Los autotanques deben estar contruidos con materiales de aluminio o acero inoxidable, a fin de que no altere la calidad del producto, y que tengan un mecanismo de cargue por el fondo (Bottom loading).
- b. Los autotanques tendrán un sistema de calentamiento y aislamiento adecuado.
- c. Las cisternas o autotanques deben estar limpios, secos y libres de materiales extraños(sedimentos y agua) para que puedan transportar el producto, para lo cual, el productor del Biodiesel verificará que no exista algún tipo de residual proveniente de alguna carga anterior y emitirá el correspondiente Certificado de Limpieza.
- d. Las mangueras y los sellos deben estar limpios y ser compatibles con Biodiesel B100.
- e. Para evitar el ingreso de humedad y contaminantes sólidos en el biodiesel de los autotanques, estos deben disponer de filtros desecantes de aire de una micra en los respiraderos o tener dispositivos para rociar y cubrir su superficie interior con gas inerte de una pureza mayor o igual a 95%.

Art. 6.- Materiales.- En relación al uso y compatibilidad de materiales, los sujetos de control deberán observar lo siguiente:

a. Para la construcción de instalaciones de almacenamiento que se utilice en el transporte fluvial y terrestre del Biodiesel B100 que estén en contacto con el producto, tales como tuberías, dispositivos de cierre hermético, válvulas, serpentines de calefacción, purgadores, bombas, medidores de temperatura o equipos y accesorios de muestreo; no deberá utilizarse material de cobre ni sus aleaciones, latón, bronce, plomo, estaño o zinc (superficie galvanizadas) en la construcción.

Los metales galvanizados y recubrimientos metálicos no son compatibles con el B100 en ningún nivel de mezcla.

b. El B100 dada su alta capacidad de solvente puede permear algunos plásticos comunes (polietileno, polipropileno) si mantiene contacto con ellos por tiempo prolongado, por lo tanto estos materiales no se deben usar para su almacenamiento.

c. El Biodiesel B100 no es compatible con algunos tipos de materiales y puede llegar a degradarlos; por ello, los sujetos de control cuando utilicen empaques o elastómeros en las instalaciones deben tener en cuenta la compatibilidad de materiales descritos en la tabla siguiente.

Tabla 1 - Compatibilidad de Elastómeros con Biodiesel

Nota: Para leer Tabla, ver Registro Oficial Suplemento 43 de 23 de Agosto de 2013, página 40.

- d. Todos los tubos flexibles utilizados para conectar tuberías durante la carga y descarga deben ser de materiales compatibles para este producto y ser de una longitud tal que resulten fáciles de limpiar.
- e. Las juntas deben ser de acero inoxidable u otros materiales compatibles.
- f. Los compuestos de caucho de nitrilo (Buna-N, Perbunan, o NBR), caucho, polipropileno, polivinilo, y materiales de Tygon son vulnerables al B100, por lo que no deben ser utilizados.
- g. Los materiales como el teflón, vitón, plásticos fluorados, y de nylon son compatibles con el B100.

Art. 7.- Condiciones de temperatura.- No se podrá almacenar o transportar Biodiesel B100 en regiones del país donde la temperatura es inferior a su punto de nube. Para lo cual se deberá preparar pre mezclas de B40 o B50, y para el transporte se requerirá de aislamiento térmico para mantener líquido al producto.

Luego se preparará la mezcla definitiva para su comercialización de acuerdo al porcentaje que establezca la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero.

La pre mezcla de diesel premium con biodiesel es necesaria para reducir la posibilidad de tener puntos de solidificación a bajas temperaturas.

Capítulo III

De las Operaciones en el manejo del Biodiesel B100

Art. 8.- Condiciones ambientales de carga y descarga del Biodiesel.- El punto de Nube (Punto de enturbiamiento) fluctúa dependiendo de la composición, tipo y selección de la materia prima y el método utilizado para el proceso de obtención del biodiesel B100.

En los casos que el biodiesel B100 se transporte a regiones en donde la temperatura ambiente sea inferior al punto de nube del producto, y luego se lo almacene, los autotanques deben tener aislamiento térmico o un método que permita calentar el producto para que el producto permanezca líquido. Se debe asumir un margen de seguridad de 6 grados C sobre la temperatura del punto de nube para mantener el producto líquido.

Además, se recomienda realizar pruebas hidrostáticas periódicas a los serpentines de calentamiento que tengan instalados los autotanques.

Al igual que con el diesel del petróleo, el B100 debe ser transportado de forma que no produzca contaminación, para lo cual los sujetos de control deben cumplir con los procedimientos determinados para el transporte en autotanques y buque-tanques establecidos en el Reglamento de Operación y Seguridad del Transporte Terrestre de Combustibles (Excepto el GLP) en autotanques y Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas.

Art. 9.- Muestreo.- El sistema de muestreo para este tipo de productos está basado en la norma ISO 5555:2001, considerando las normas de seguridad establecidas en la MSDS (Material Safety Data Sheet) y las características de almacenamiento del Biodiesel B100.

Art. 10.- Despacho de Biodiesel B100.- El productor de Biodiesel debe garantizar que su producto cumple con los requisitos de la norma Técnica Ecuatoriana INEN 2482 "Biodiesel Requisitos", vigente. En ella se encuentran los requisitos de calidad que el Biodiesel (B100) debe cumplir.

Antes de iniciar el despacho y para cada envío del producto B100, el productor debe entregar al transportador un "Informe de resultados" de la calidad del producto, adjuntando la respectiva Guía de Remisión. Los resultados de los análisis de laboratorio reportados en el "Informe de resultados" deben ser emitidos por un laboratorio acreditado y entregado al comprador y al ente de control.

Capítulo IV

De los Terminales y Refinerías

Art. 11.- Construcción y adecuación de instalaciones.- La adecuación de la infraestructura existente y/o construcción de nueva para la recepción y almacenamiento del Biodiesel B100, sistemas de mezclado en línea y despacho de la mezcla, equipos de medición, instrumentación de control en refinerías y terminales de EP Petroecuador o quien haga sus veces, deberán ceñirse a los códigos, estándares y normas nacionales e internacionales ó de la industria del petróleo (API, ANSI, ASTM, NFPA, ASME, ISA, y otras afines), a fin de garantizar la calidad y seguridad de las instalaciones y condiciones óptimas de la operación y manejo del biodiesel y la mezcla respectiva.

Art. 12.- Recepción del Biodiesel en las instalaciones de mezcla.- EP Petroecuador o quien haga sus veces, previo a la recepción del Biodiesel B100, solicitará a las empresas

proveedoras el respectivo "informe de resultados" de calidad, el cual deberá cumplir con los requisitos establecido en la Norma INEN 2482 "Biodiesel Requisitos", vigente.

EP Petroecuador (comprador), en el punto de recepción del producto B100, debe, sin perjuicio de ejecutar todos los análisis señalados en la norma INEN 2482: "Biodiesel Requisitos", vigente, realizar los análisis básicos (Tabla 2) en los laboratorios de refinerías y terminales para los fines de comprobación de la calidad, para lo cual en presencia de una inspectora independiente y ente de control debe tomar las muestras necesarias de los autotanques antes de recibir el producto.

Tabla 2.- Análisis Básicos del Biodiesel B100

Parámetro	Unidad	Especificación
-----------	--------	----------------

Densidad a 15 C	Kg/m ³	860 - 900
-----------------	-------------------	-----------

Contenido de Agua	mg/kg	500 máximo
-------------------	-------	------------

Punto de Nube*	grados C	5 máximo
----------------	----------	----------

Contaminación Total	mg/kg	15 máximo
---------------------	-------	-----------

* Se realizará este ensayo en lugares de temperatura igual o inferior a 14 grados C.

En caso de incumplimiento de los requisitos de calidad establecidos en los parámetros básicos mencionados en la tabla anterior, no se debe aceptar el producto y se deberá informar por escrito al proveedor del producto y a la entidad de control correspondiente, a fin de que se disponga el análisis de la contramuestra en un laboratorio acreditado.

EP PETROECUADOR debe instalar equipos contadores de partículas en puntos críticos en terminales y refinerías para obtener reportes en tiempo real de las partículas totales del B100 y la mezcla bajo la norma ISO 4406-99 establecidas por la Word Wide Fuel Charter.

Art. 13.- Almacenamiento del Biodiesel, Diesel Premium y la Mezcla Diesel Premium-Biodiesel.- Los sistemas de almacenamiento del Biodiesel, Diesel Premium y la Mezcla, según el caso, en las plantas productoras de Biodiesel y en las instalaciones de mezcla (refinerías y terminales) deben contar con un programa de control del contenido de agua y sedimentos presentes en el fondo de los tanques. Esta operación constituye una de las más importantes prácticas de aseguramiento de la no afectación de la calidad de los tres productos durante el almacenamiento.

Se deben verificar las condiciones del tanque en el cual se va a realizar el almacenamiento de los productos: Biodiesel B100, diesel premium y la mezcla diesel premium - biodiesel enfatizando la eliminación de agua y sedimentos conforme a las normas establecidas; en cada operación se debe registrar la fecha del drenaje, la medición de agua antes y después del drenado y la cantidad de agua retirada, para lo cual se debe mantener una bitácora con esta información; esta periodicidad la debe ajustar cada planta de acuerdo a las cantidades de agua encontradas en la operación mensual.

La disposición y aprovechamiento de los productos contaminados remanentes de las prácticas de drenaje deben ser debidamente tratados en los respectivos sistemas de separadores "API" de los sujetos de control.

Una de las fuentes potenciales de presencia de agua libre en el fondo del tanque se origina de la condensación del vapor de agua presente en la atmosfera, por lo tanto, en caso de

presentarse elevado contenido de agua por condensación atmosférica, se debe instalar filtros desecantes con filtración micrónica de aire de una micra en los respiraderos del tanque. Manejar en lo posible una alta rotación del inventario y evitar el almacenamiento de producto por períodos superiores a 3 meses.

Art. 14.- Sistema de Mezcla de Biodiesel - Diesel Premium.- El contenido de Biodiesel en el Diesel Premium debe cumplir con lo establecido en la norma INEN 1489 "Diesel. Requisitos", vigente. Para el efecto se debe utilizar sistemas/procedimientos que permitan monitorear y medir los volúmenes de los productos base que se están mezclando, tales como, sistemas de mezcla automáticos, balance o control de inventarios.

Se debe utilizar un equipo mezclador automático en línea para garantizar la exactitud de los porcentajes de los componentes de la mezcla y la homogeneidad del producto. El mezclador de Diesel Premium - Biodiesel, en las instalaciones de la mezcla, deberá contemplar, dentro de la infraestructura mínima de almacenamiento y despacho de la mezcla los equipos y procedimientos que permitan disponer de producto dentro de especificaciones. En terminales se debe instalar sistemas de filtración micrónica y coalescente (menor o igual a 10 micras) a las dos corrientes diesel premium y biodiesel antes de la mezcla de los citados productos para preparar el diesel premium oxigenado con biodiesel acorde a la norma INEN 1489.

Art. 15.- Despacho de la mezcla Diesel Premium-Biodiesel.- Para el despacho de la mezcla diesel Premium - Biodiesel (Diesel Premium), los componentes de la mezcla debe estar dentro del rango establecido en la norma INEN 1489: "Diesel. Requisitos", vigente, conforme lo establezca la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero. En caso de que se detecte que el contenido indicado de biodiesel en la mezcla no se cumple, el sujeto de control deberá realizar los ajustes necesarios para corregir la desviación.

Se deben evitar, la operación de recibo y entrega simultánea de producto en un mismo tanque.

EP Petroecuador, o quien haga sus veces, en los laboratorios de control de calidad de refinerías y terminales realizará los análisis de la mezcla Diesel Premium-Biodiesel (Diesel Premium) y emitirá el respectivo "informe de resultados" el cual deberá cumplir con "las especificaciones de calidad establecidas en la NTE INEN 1489 "Diesel. Requisitos", vigente.

Una vez recibido a satisfacción el producto, la comercializadora será responsable de sellar los compartimientos de los autotanques que transporten la mezcla de Diesel Premium - Biodiesel (Diesel Premium), a fin de eliminar riesgos de adulteración y deterioro del producto; a partir de éste momento, la calidad del producto es de responsabilidad de la comercializadora.

Art. 16.- Transporte de Mezcla Diesel Premium -Biodiesel.- Para el transporte de la mezcla Diesel Premium-Biodiesel (Diesel Premium), se deben tener los mismos cuidados que se tienen para el transporte de combustibles derivados del petróleo. Se debe cumplir con los requisitos establecidos en el Reglamento de Operación y Seguridad del Transporte Terrestre de Combustibles (Excepto el GLP) en autotanques y Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas.

Los autotanques deben estar completamente limpios y herméticos, para evitar la contaminación con agua. Los sujetos de control deberán inspeccionar el interior de los tanques previo a la carga garantizando que estén libres de agua y sedimentos.

Capítulo V

De los Centros de Distribución

Art. 17.- Recepción de la mezcla Diesel Premium-Biodiesel.- Antes de descargar la mezcla diesel premium-biodiesel desde los autotanques a los tanques de almacenamiento en los centros de distribución, así como al nuevo producto almacenado, los centros de distribución de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos deberán realizar las siguientes pruebas de campo, para verificar la calidad del producto que recibe y del producto almacenado, a fin (sic) garantizar al usuario final un producto de excelente calidad.

1. Apariencia
2. Densidad de la mezcla
3. Contenido de agua

La mezcla diesel premium-biodiesel debe ser manejado como cualquier combustible líquido derivado de los hidrocarburos, por lo tanto deben tomarse todas las medidas de seguridad en la descarga y recepción del mismo, para evitar: sobrellenado y derrames durante el llenado de tanques.

Antes de la primera recepción de la mezcla diesel premium-biodiesel, las comercializadoras de combustibles garantizarán que los centros de distribución de combustible líquido derivado de los hidrocarburos realicen una limpieza prolija e integral de los tanques de almacenamiento, líneas y sistemas asociados, retirar los residuos de óxido y sustancias extrañas, reemplazar los filtros del surtidor por filtros de menor o igual a 10 micras aprobados para biodiesel, reparar y/o cambiar las partes que no se encuentren en óptimas condiciones.

Para los trabajos a realizarse en los centros de distribución deberán considerarse las regulaciones establecidas por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero.

Los tanques no deben mantenerse desocupados por mucho tiempo, ya que el aire que queda dentro de los mismos puede generar procesos de oxidación, al igual que la contaminación por partículas y el aumento en los niveles de agua.

Las comercializadoras de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos garantizarán que el transporte de la mezcla y su manejo en las estaciones de servicio sea el adecuado, a fin de asegurar al consumidor final la venta del producto, acorde a las especificaciones de calidad de la norma INEN 1489 vigente.

Art. 18.- Almacenamiento de la mezcla Diesel Premium - Biodiesel.- Las comercializadoras deberán garantizar que los tanques de almacenamiento de los centros de distribución de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos reciban mantenimiento periódico con especial cuidado en drenajes, filtros y uso de biocidas. La periodicidad de evacuación de agua la debe ajustar cada centro de distribución de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos, de acuerdo a las cantidades de agua encontradas en la operación mensual, buscando asegurar mantener los fondos de los tanques libres de agua y sedimentos.

Los tanques deben tener completa hermeticidad no solo para la prevención de fugas, sino para evitar la contaminación del combustible. Por lo que, se debe realizar pruebas de hermeticidad e hidrostáticas en los tanques y equipos asociados, de acuerdo con lo establecido por la normativa aplicable.

Art. 19.- Limpieza de tanques de almacenamiento de la mezcla Diesel Premium - Biodiesel.- Las comercializadoras de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos garantizarán

que los tanques de almacenamiento de los centros de distribución de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos reciban una limpieza integral antes de la primera recepción de la mezcla de diesel-biodiesel (Diesel Premium) y se mantengan en condiciones óptimas durante su operación, con el fin de evitar la generación de lodos y sedimentos.

Art. 20.- Manejo de filtros.- Las comercializadoras de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos garantizarán que los centros de distribución de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos mantengan sistemas de filtración para el despacho de la mezcla diesel premium-biodiesel.

Los centros de distribución de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos deben implementar respiraderos desecantes con filtración de 1 micra en las rejillas de ventilación de los tanques que absorban la humedad del aire y eviten la contaminación por partículas; y, en los dispensadores filtros de menor o igual a 10 micras.

Se deben revisar periódicamente los filtros del sistema de distribución con la finalidad de que sean reemplazados una vez que hayan cumplido su vida útil.

Art. 21.- Disposición de residuos.- Todo material que entre en contacto con biodiesel o la mezcla diesel-biodiesel (absorbentes, arena, filtros, canecas, estopas, etc.) así como los sólidos, borras y en general, todos los materiales resultantes de la limpieza de los tanques, deberán ser manejados como residuos peligrosos, para tal efecto, se debe aplicar la normativa técnica vigente; en este sentido, deberá contemplarse el almacenamiento adecuado de residuos y la entrega de los mismos a gestores ambientales calificados para el transporte, tratamiento y disposición final de residuos.

Capítulo VI

DISPOSICIONES GENERALES

Primera: Contingencias y derrames.- Todas las contingencias y derrames de mezclas diesel-biodiesel deberán ser atendidos según los parámetros establecidos para cualquier combustible líquido.

En ese sentido, las refinerías, terminales y centros de distribución de combustibles, líquidos derivados de los hidrocarburos deberán contar con un Plan de Emergencias y Contingencias, este plan deberá contemplar los protocolos a seguir en caso de derrame e incendio en las diferentes operaciones asociadas con la mezcla diesel-biodiesel (llenado de tanques, suministro, etc.). No debe olvidarse el alto efecto corrosivo del biodiesel sobre el concreto, razón por la cual se deben atender con agilidad los posibles derrames del mismo sobre este material; para las nuevas instalaciones de contención y pisos deberá utilizarse concretos poliméricos resistentes al ataque corrosivo del Biodiesel (FAME).

Segunda: Control de humedad.- Se debe implementar medidas para impedir la entrada de agua y prever los medios para permitir la evacuación de la misma en todo el sistema, de igual forma, se debe implementar un programa de mantenimiento que incluya medidas preventivas como filtración micrónica y coalescente para retirar particulados y agua según niveles establecidos en ésta norma y Normas Técnicas.

Será también responsabilidad de los sujetos de control, llevar una bitácora permanente del control de contenido de agua en tanques, misma que estará a disposición del ente de control.

Tercera: Alteración de la calidad del Biodiesel y Diesel Premium (mezcla diesel premium-biodiesel).En caso de que, en la cadena de distribución del biodiesel y la mezcla Diesel

Premium-Biodiesel (Transporte, almacenamiento y comercialización) se genere sedimentos, emulsión, solidificación y pequeños grumos (haze) en el producto, las comercializadoras y los centros de distribución de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos y/o EP PETROECUADOR en lo que correspondan, son responsables para solucionar cualquier evento que se presente en cualquiera de los puntos de la cadena y que altere las especificaciones de calidad del producto.

En el caso que se presenten tales novedades deberán comunicar del particular, a la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero y al Ministerio del Ambiente.

Cuarta: Incumplimiento de los requisitos de calidad de las NTE INEN vigentes.- En caso de que por los controles realizados por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero en cualquier punto de la cadena de distribución, se determine que el Biodiesel y/o Diesel Premium (mezcla diesel premium-biodiesel) incumple las especificaciones de calidad establecidas en las normas INEN 2482: "Biodiesel. Requisitos", y/o INEN 1489 "Diesel. Requisitos", vigentes o a cualquiera de las disposiciones comprendidas en esta norma, sin perjuicio de las acciones legales que deberá instaurarse, se dispondrá la suspensión del despacho del producto y la prohibición de su comercialización.

Quinta: Para los efectos señalados en el artículo 67 Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador, se deberán obtener de las autorizaciones que para el efecto exija el Ministerio del Ambiente de acuerdo a su competencia en materia ambiental.

DISPOSICIONES TRANSITORIAS

Primera.- De acuerdo a la implementación del Plan de Biodiesel, en la provincia de Manabí a partir del 30 de agosto del presente año, EP Petroecuador iniciará en el Terminal Barbasquillo la preparación y comercialización de la mezcla diesel premium - biodiesel (Diesel Premium).

Segunda.- El programa de comercialización de la mezcla diesel premium - biodiesel, se implementará inicialmente con un porcentaje de mezcla de 5% de biodiesel y 95% de diesel premium, denominado B5.

Para la instalación de los respiraderos con filtros desecantes para controlar la humedad y los sistemas de filtración micrónica y coalescente para retirar agua y sedimentos, así como los equipos contadores de partículas en sitio o en laboratorio, se otorga un plazo de tres meses para su implementación, a partir de la publicación de la presente norma.

Cuarta.- Los centros de distribución de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos (estaciones de servicio) que tengan tuberías de acero galvanizado, deberán realizar el cambio por tubería apta para el transporte de la mezcla diesel premium-biodiesel (diesel premium), en el plazo que para el efecto dicte la ARCH.

DISPOSICION FINAL.- La presente Resolución entrará en vigencia a partir de su suscripción sin perjuicio de su publicación en el Registro Oficial.

COMUNIQUESE Y PUBLIQUESE.-

Dado, en Quito, Distrito Metropolitano, a 11 de julio de 2013.

f.) Pedro Merizalde Pavón, Ministro de Recursos Naturales No Renovables, Presidente del Directorio de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero.

f.) José Luis Cortázar Lascano, Director Ejecutivo de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, Secretario del Directorio de la ARCH.

Anexo B: Metodología para el balance de masa y energía

Balance de Masa y Energía

1. Leer y entender el planteamiento del problema.
2. Dibuja el esquema del proceso y especificar el límite del sistema.
3. Colocar etiquetas (símbolos, números y unidades) en el diagrama para todos los flujos conocidos, materiales y composición.
4. Obtener cualquier dato necesario para resolver el problema.
5. Elegir una base.
6. Determinar el número de variables que no son conocidas.
7. Determinar el número de ecuaciones independientes y llevar a cabo el análisis de grados de libertad.
8. Anotar las ecuaciones para ser resueltas en términos conocidos y desconocidos.
9. Resolver las ecuaciones y calcular las cantidades pedidas en el problema.
10. Revisar respuestas

Fuente: (Himmelblau & Riggs, 2012)

Anexo C: Metodología para el diagrama de bloque

Diagrama de Bloque.

1. Mostrar operaciones en bloques.
2. Principales líneas de flujo representadas con flechas dando dirección al flujo.
3. El flujo debe ir de izquierda a derecha siempre que sea posible
4. Las corrientes más ligeras (gases) se representan hacia arriba y las más pesadas hacia abajo.
5. Debe incluir la información crítica para procesar el suministro.
6. Si las líneas se cruzan, la línea horizontal es continua y la vertical se rompe.
7. Se debe mostrar el balance de materia simplificado.

Fuente: (Seider, Seader, & Lewin, 2004)

Anexo D: Metodología para el diagrama de flujo

Diagrama de Flujo

1. Representar todas las piezas del equipo en el diagrama con una descripción del equipo. Cada pieza del equipo tendrá asignado un número único de equipo con un nombre descriptivo.
2. Se mostrarán las corrientes de flujo y se identificarán por un número. Incluye la descripción de las condiciones del proceso y la composición química de cada corriente.
3. Incluir flujos de servicios suministrados a los equipos principales que proporcionan una función del proceso.
4. Deben constar bucles de control básicos y estrategias de control usadas para operar el proceso durante operaciones normales.

Fuente: (Sinnott & Towler, 2008)

Anexo E: Metodología para el diseño del reactor

El diseño elegido para el reactor es de lecho fijo intermitente ya que la mezcla entre aceite y metanol debe mantenerse homogénea. Este tipo de reactor cuenta con un empaque de catalizador con recirculación a un tanque de agitación como se muestra en el siguiente esquema.

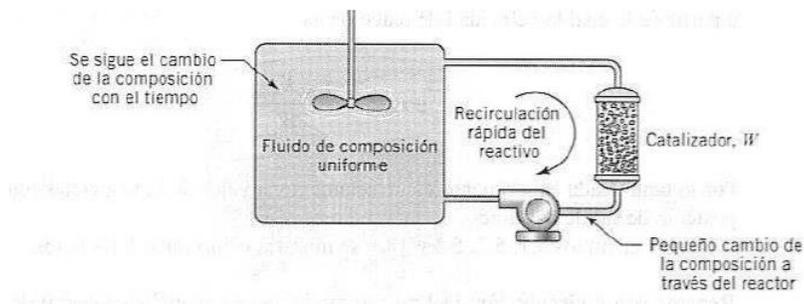


Figura 8. Reactor catalítico de lecho fijo intermitente.

La determinación del volumen del reactor y de la cantidad de catalizador necesaria se obtuvo de la derivación de las ecuaciones de diseño para un reactor de lecho fijo intermitente con una reacción de primer orden. La cantidad de catalizador necesaria se utiliza la siguiente fórmula:

$$\tau = -\frac{1}{k} \ln(1 - X_B)$$

Donde:

τ = tiempo de residencia,

k = constante cinética, [min^{-1}].

X_B = fracción molar del biodiesel.

V = Volumen del reactor, [m^3].

W = cantidad de catalizador, [kg].

Una vez que se obtiene τ se determina el volumen.

$$V = \tau * \dot{V}$$

Para determinar la cantidad de catalizador se utiliza la siguiente ecuación

$$W = -\frac{\dot{V}}{k} \ln(1 - X_B)$$

Fuente: (Levenspiel, 2004)

Anexo F: Metodología para diseñar el tanque de agitación y su motor.

Determinar el volumen del tanque y su diámetro. El volumen se determinó dependiendo el caudal y el tiempo de reacción y el diámetro con la siguiente ecuación.

$$D_t = \sqrt[3]{\frac{V * 4}{\pi}}$$

Una vez determinado el diámetro se calculan las variables detalladas en la siguiente figura.

La relación entre cada parámetro es:

$$\frac{D_a}{D_t} = 0.5$$

$$\frac{H}{D_t} = 1$$

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{D_d}{D_a} = \frac{2}{3}$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

$$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

Se despeja cada parámetro y se obtienen las dimensiones para el tanque de almacenamiento. Para determinar la potencia del motor se debe calcular el número de Reynolds:

$$N'_e = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu}$$

En el que:

N = velocidad de agitación [rev/s]

ρ = densidad de la mezcla [kg/m^3]

μ = Viscosidad dinámica de la mezcla [$\text{kg}/\text{m}^*\text{s}$]

Una vez calculado el número de Reynolds se utiliza el siguiente gráfico para determinar N_p

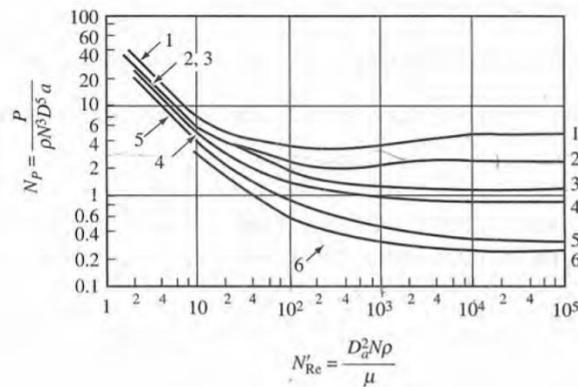


Figura 9. Correlaciones de potencia para diversos impulsores y deflectores.

Para determinar el número de la curva que se debe utilizar se debe calcular la relación D/J . En el caso de los dos tanques de agitación que se diseñaron esta relación fue igual 12 por lo que se utiliza la curva 6. Se determina el valor de N_p y se despeja P de la siguiente ecuación para determinar la potencia en [J/s].

$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 D_a^5}$$

$$P = N_p \rho N^3 D_a^5$$

Fuente: (McCabe, Smith, & Harriot, 2007)

Anexo G: Metodología para diseñar tanques de almacenamiento

Usando la metodología descrita en el Anexo C se determina el valor de H, siendo la altura que tendrá la mezcla dentro del reactor. Para tanques elipsoides se utilizan las siguientes fórmulas:

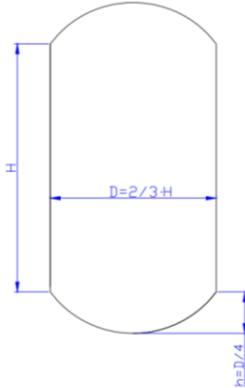


Figura 10. Esquema para el diseño de un tanque de almacenamiento elipsoidal.

$$D = \frac{2}{3} * H$$

Con la altura del fluido H, se determina el diámetro [m] del tanque, y con este la altura que tendrá la cabeza, h_{cab} .

$$h_{cab} = \frac{D}{4}$$

Una vez calculada la altura de la cabeza se obtiene la altura total del tanque.

$$H_{tot} = H + 2 * h_{cab}$$

Al obtener estos datos ya se puede calcular el volumen del cilindro, V_{cil} , y las cabezas, V_{cab} con las siguientes fórmulas

$$V_{cil} = \pi * R^2 * H$$

$$V_{cab} = \frac{\pi * D^2 * h_{cab}}{6}$$

El volumen total del tanque se obtendrá:

$$V_{tanque} = V_{cil} + 2 * V_{cab}$$

Para calcular el espesor del cilindro y la cabeza se aplican las siguientes fórmulas:

$$t_{cil} = \frac{\gamma * d * r}{\sigma_t * E_s}$$

$$t_{cab} = \frac{P * D_E}{2 * \sigma_t * E_s + 1.8 * P}$$

En las que:

γ = Peso específico de la mezcla, [kg/m³]

d = Nivel máximo de la mezcla, [m]

r = radio del tanque, [m]

σ_t = Tensión máxima admisible del material, [kg/m²]. En este caso se ha utilizado de acero inoxidable 304L, que es 17.110,000.

E_s = Eficiencia de soldadura. Como no se presentan dificultades en la soldadura se utiliza 0.6.

P = Presión externa, [kg/m²]

D_E = Diámetro externo, [m]

Para determinar el peso específico de la mezcla se multiplica la densidad por la gravedad.

Fuente: (McCabe, Smith, & Harriot, 2007)

Anexo H: Metodología para el diseño de una bomba centrífuga

Determinar el diámetro óptimo de la tubería:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v_0}}$$

Donde:

d_0 = Diámetro óptimo de la tubería, [m]

Q = Caudal del fluido, [m³/h]

v_0 = Velocidad óptima del fluido, [m/h]

Para determinar la velocidad óptima del fluido se ha encontrado en la literatura que el valor óptimo de este es 1,8 m/s por lo que este se utilizó en todos los cálculos para las bombas.

Calcular el número de Reynolds, Re .

$$Re = \frac{\rho * v_0 * d_0}{\mu}$$

Donde:

ρ = densidad del fluido, [kg/m³]

μ = viscosidad dinámica del fluido, [Pa*s]

Para determinar el trabajo de la bomba W_p en J/kg:

$$W_b * \eta = \left(\frac{P_b}{\rho} + g * Z_b + \frac{\alpha_b * \bar{V}_b^2}{2} \right) - \left(\frac{P_a}{\rho} + g * Z_a + \frac{\alpha_a * \bar{V}_a^2}{2} \right)$$

Donde:

η = Eficiencia de la bomba.

$P_{a,b}$ = Presión aplicada al fluido a o b, [atm].

g = Gravedad, 9,81 m/s².

$Z_{a,b}$ = Altura del fluido a o b, [m].

$\alpha_{a,b}$ = Factor de corrección para la energía cinética. Si $Re < 2,000$ el valor es 2, si $Re > 4,000$ el valor será 1.

$\tilde{V}_{a,b}$ = Velocidad media del fluido de a o b, [m/s].

Para determinar la velocidad media del fluido se utiliza la siguiente tabla partiendo del diámetro óptimo de tubería que se ha tomado como diámetro interno. Este valor se obtiene dividiendo el caudal de cada equipo en gal/min para la velocidad en gal/min de 1 ft/s.

Una vez obtenido el valor de W_p se calcula la potencia, P_B :

$$P_B = \dot{m} * W_p$$

Donde:

P_B = Potencia suministrada a la bomba, [W].

\dot{m} = Flujo másico del fluido, [kg/s]

Tabla 25. Dimensiones, capacidades y pesos de tuberías estándar de acero.

Tamaño nominal de tubería, in.	Diámetro exterior, in.	Número de cédula	Espesor de pared, in.	Diámetro interior, in.	la sección transversal del metal, in. ²	Área de la sección interior, ft ²	ft, o superficie, ft ² /ft de longitud		velocidad de 1 ft/s		Peso de la tubería, lb/ft
							Exterior	Interior	U.S. gal/min	Agua, lb/h	
$\frac{1}{8}$	0.405	40	0.068	0.269	0.072	0.00040	0.106	0.0705	0.179	89.5	0.24
		80	0.095	0.215	0.093	0.00025	0.106	0.0563	0.113	56.5	0.31
$\frac{1}{4}$	0.540	40	0.088	0.364	0.125	0.00072	0.141	0.095	0.323	161.5	0.42
		80	0.119	0.302	0.157	0.00050	0.141	0.079	0.224	112.0	0.54
$\frac{3}{8}$	0.675	40	0.091	0.493	0.167	0.00133	0.177	0.129	0.596	298.0	0.57
		80	0.126	0.423	0.217	0.00098	0.177	0.111	0.440	220.0	0.74
$\frac{1}{2}$	0.840	40	0.109	0.622	0.250	0.00211	0.220	0.163	0.945	472.0	0.85
		80	0.147	0.546	0.320	0.00163	0.220	0.143	0.730	365.0	1.09
$\frac{3}{4}$	1.050	40	0.113	0.824	0.333	0.00371	0.275	0.216	1.665	832.5	1.13
		80	0.154	0.742	0.433	0.00300	0.275	0.194	1.345	672.5	1.47
1	1.315	40	0.133	1.049	0.494	0.00600	0.344	0.275	2.690	1345	1.68
		80	0.179	0.957	0.639	0.00499	0.344	0.250	2.240	1120	2.17
1 $\frac{1}{4}$	1.660	40	0.140	1.380	0.668	0.01040	0.435	0.361	4.57	2285	2.27
		80	0.191	1.278	0.881	0.00891	0.435	0.335	3.99	1995	3.00
1 $\frac{1}{2}$	1.900	40	0.145	1.610	0.800	0.01414	0.497	0.421	6.34	3170	2.72
		80	0.200	1.500	1.069	0.01225	0.497	0.393	5.49	2745	3.63
2	2.375	40	0.154	2.067	1.075	0.02330	0.622	0.541	10.45	5225	3.65
		80	0.218	1.939	1.477	0.02050	0.622	0.508	9.20	4600	5.02
2 $\frac{1}{2}$	2.875	40	0.203	2.469	1.704	0.03322	0.753	0.647	14.92	7460	5.79
		80	0.276	2.323	2.254	0.02942	0.753	0.608	13.20	6600	7.66
3	3.500	40	0.216	3.068	2.228	0.05130	0.916	0.803	23.00	11500	7.58
		80	0.300	2.900	3.016	0.04587	0.916	0.759	20.55	10275	10.25
3 $\frac{1}{2}$	4.000	40	0.226	3.548	2.680	0.06870	1.047	0.929	30.80	15400	9.11
		80	0.318	3.364	3.678	0.06170	1.047	0.881	27.70	13850	12.51
4	4.500	40	0.237	4.026	3.17	0.08840	1.178	1.054	39.6	19800	10.79
		80	0.337	3.826	4.41	0.07986	1.178	1.002	35.8	17900	14.98
5	5.563	40	0.258	5.047	4.30	0.1390	1.456	1.321	62.3	31150	14.62
		80	0.375	4.813	6.11	0.1263	1.456	1.260	57.7	28850	20.78
6	6.625	40	0.280	6.065	5.58	0.2006	1.734	1.588	90.0	45000	18.97
		80	0.432	5.761	8.40	0.1810	1.734	1.508	81.1	40550	28.57
8	8.625	40	0.322	7.981	8.396	0.3474	2.258	2.089	155.7	77850	28.55
		80	0.500	7.625	12.76	0.3171	2.258	1.996	142.3	71150	43.39
10	10.75	40	0.365	10.020	11.91	0.5475	2.814	2.620	246.0	123000	40.48
		80	0.594	9.562	18.95	0.4987	2.814	2.503	223.4	111700	64.40
12	12.75	40	0.406	11.938	15.74	0.7773	3.338	3.13	349.0	174500	53.56
		80	0.688	11.374	26.07	0.7056	3.338	2.98	316.7	158350	88.57

¹Basados en ANSI B36. 10-1959, con autorización de ASME.

Fuente: (McCabe, Smith, & Harriot, 2007)

Anexo I. Metodología para calcular el ISBL por medio de los factores de Lang

Factores de Lang

Para algunos datos se consultará el libro de Sinnott y Towler, Diseño en ingeniería química, quinta edición.

1. Determinar el factor de instalación, F.
2. Sumar el costo total de los equipos, $\sum C_e$.
3. Calcular el costo capital ISBL, C, con la siguiente fórmula:

$$C = F \left(\sum C_e \right)$$

Fuente: (Sinnott & Towler, 2008)

Anexo J: Metodología para calcular el ISBL por medio de la estimación factorial detallada

1. Investigar los factores de:
 - 1.1. Montaje de equipos, f_{er} .
 - 1.2. Tubería, f_p .
 - 1.3. Energía eléctrica e iluminación, f_{el} .
 - 1.4. Instrumentos y sistemas de proceso automático de control, f_i .
 - 1.5. Estructuras y proceso de construcción, f_c .
 - 1.6. Edificios auxiliares, oficinas, laboratorios, etc, f_s .
 - 1.7. Bodegas de materia prima y producto final.
 - 1.8. Servicios, proveedor para la planta de vapor, agua, aire, extintores, etc.
 - 1.9. Revestimiento, aislamiento y pintura, f_l .
 - 1.10. Preparación del sitio.

Tabla 26. Factores típicos para la estimación de costo de capital fijo de un proyecto.

Item	Fluids	Process Type 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

Fuente: (Sinnott & Towler, 2008)

2. Para todos los equipos se utilizará acero inoxidable 304 por lo que el valor de f_m será 1,3.
3. Determinar es costo ISBL, C:

$$C = \sum_{i=1}^{i=M} C_{e,i,A} [(1 + f_p) + (f_{er} + f_{el} + f_i + f_c + f_s + f_l)/f_m]$$

Fuente: (Sinnott & Towler, 2008)

Anexo K: Determinación de costos OSBL, diseño e ingeniería, contingencia y capital fijo total

OSBL:

El valor para calcular el OSBL (OS) es 0,3 ya que la planta maneja fluidos.

$$OS = \sum C_e * 0,3$$

Diseño e ingeniería (D&E):

El valor para calcular este es 0.3 para plantas que manejan fluidos.

$$D\&E = \sum C_e * 0.3$$

Contingencia (X)

El valor para calcular la contingencia para fluidos es 0.1.

$$X = \sum C_e * 0.1$$

Costo total de capital fijo (C_{FC})

Para fluidos el valor para multiplicar el ISBL es 1.82.

$$C_{FC} = C * 1.82$$

Fuente: (Sinnott & Towler, 2008)

Anexo L: Desglose del capital fijo, costos variables y capital de trabajo

Capital fijo total

- Labor operativa: suma del sueldo de los operarios
- Supervisión: 25% del valor operativo
- Mantenimiento: 3% del ISBL
- Alquiler del terreno: 1% del ISBL+OSBL
- Gastos generales de la planta: 65% de la labor operativa más el valor del mantenimiento
- Seguro: 2% del ISBL

Costos variables

- Costo de la materia prima por un mes.
- Sueldo del administrativo y de los operarios.

Capital de trabajo

- Costo de materia prima de dos semanas de producción.
- Costo de producción de biodiesel por dos semanas de producción.
- Dinero de reserva: una semana del costo de producción.
- Cuentas recibidas y no pagadas: costo de producción de un mes.
- Créditos de cuentas por pagar: costo de materia prima por un mes.
- Inventario de repuestos: 2% del ISBL+OSBL