

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

El biodiesel es un biocombustible renovable líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales de soja, colza/canola, girasol, palma y otros, como así también de grasas animales, mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación y que se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del petrodiesel o gasóleo obtenido del procedente del petróleo.

I.1 TRANSESTERIFICACIÓN

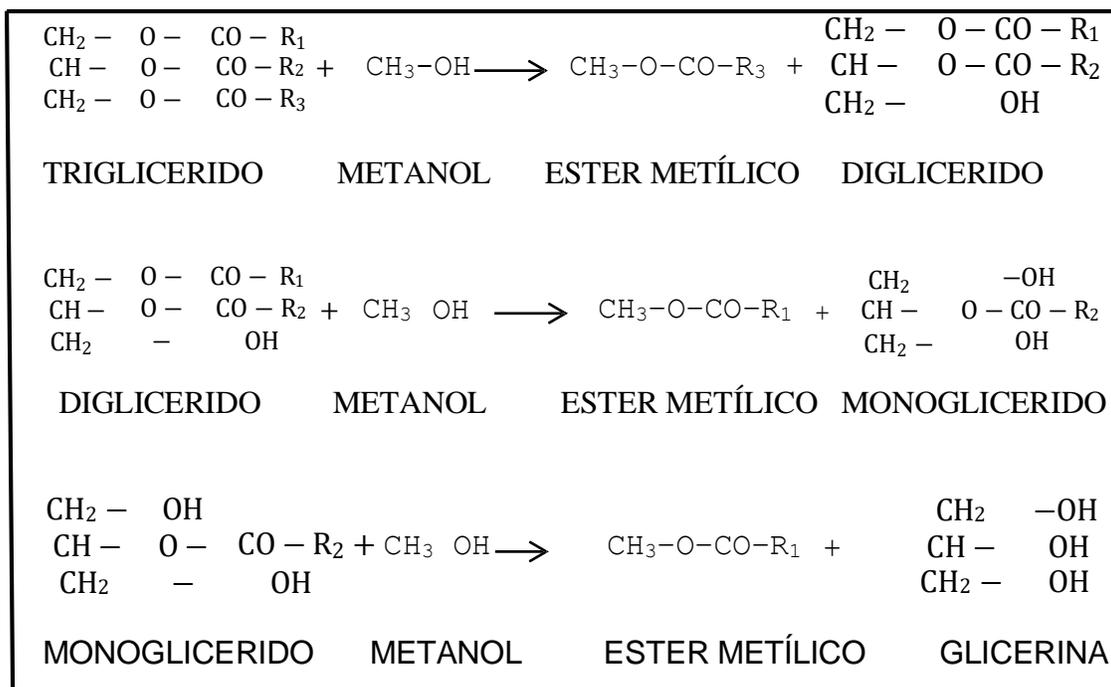
La Transesterificación básicamente consiste en el mezclado del aceite vegetal o grasas con un alcohol (generalmente Metanol) y un álcali (soda cáustica).

Al cabo de un tiempo de reposo, se separa por decantación el biodiesel de su subproducto glicerol, esto se refiere cada vez más a los ésteres alquílicos de aceites vegetales o grasas animales y no a los aceites o grasas solas, utilizados como combustible en los motores diésel.

Los grupos alcoholes comienzan a atacar el triglicérido para formar diglicérido, cuando el ataque continua forma monoglicéridos y al final de la reacción, forman glicerol; que es conocido en la industria como glicerina, y tres moléculas de éster metílico.

Todo este proceso se lleva a cabo en un reactor donde se producen las reacciones y en posteriores fases de separación, purificación y estabilización.

Figura i. 1: Reacción de transesterificación



Fuente: Marcano, Laura, Machillanda A, Estefany, Sojo, Marco, Quijada, Karina, & DI Scipio, Sabrina. (2014). Estudio de la obtención de biodiesel a partir de productos secundarios de la reacción de transesterificación de aceites residuales de cocina. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 29(1), 65-74. Recuperado en 22 de octubre de 2019, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652014000100009&lng=es&tlng=es.

La ASTM (American Society for Testing and Materials) define el Biodiesel como “el éster mono alquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, como por ejemplo aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores Diesel”.

I.2. HISTORIA

El uso por primera vez de aceites vegetales como combustibles, se remontan al año de 1900, siendo Rudolph Diesel, quien lo utilizara por primera vez en su motor de ignición - compresión y quien predijera el uso futuro de biocombustibles. (César Mamani y Luis A. Reque Terán).

Durante la segunda guerra mundial, y ante la escasez de combustibles fósiles, se destacó la investigación realizada por Otto y Vivacqua en el Brasil, sobre diesel de origen vegetal, pero fue hasta el año de 1970, que el biodiesel se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética que se sucedía en el momento, y al elevado costo del petróleo.

Las primeras pruebas técnicas con biodiesel se llevaron a cabo en 1982 en Austria y Alemania, pero solo hasta el año de 1985 en Silberberg (Austria), se construyó la primera planta piloto productora de RME (RapeseedMethyl Ester – metiléster aceite de semilla de colza). (César Mamani y Luis A. Reque Terán)

Hoy en día países como Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiesel en automóviles.

El uso de energías renovables ha ido en aumento debido al exceso de contaminación producida por los combustibles fósiles utilizados principalmente en la actualidad.

El principal motivo por el cual los aceites vegetales no se pueden utilizar directamente en los motores diésel, es por su viscosidad. Para la reducción de esta viscosidad, el proceso químico recomendado es el de la Transesterificación (Soluciones Prácticas-ITDG; Lima, Perú (2000)):

Insumos: (87%)*Aceite* + (12%)*Metanol* + (1%) *Catalizador*

Productos: (86%)*Biodiesel* + (9%)*Glicerina* + (4%)*metanol*
+ (1%)*Fertilizante*

Después del proceso el biodiesel (éster metílico) tiene una viscosidad semejante a la del diésel derivado del petróleo y puede reemplazarlo en los usos más comunes.

A principios del siglo XXI, en el contexto de búsqueda de nuevas fuentes de energía, se impulsó subdesarrollo para su utilización en automóviles como combustible alternativo a los derivados del petróleo.

La utilización del biodiesel lleva a un balance óptimo en el ciclo de carbono (cantidad de CO₂ que llega a la atmósfera como producto la quema de combustibles fósiles por el hombre), evitando la acumulación de dióxido de carbono en el medio ambiente.

Estas emisiones se reducen en comparación con el diésel, pero lo más relevante es su bajo contenido de azufre y así cumplir con las regulaciones ambientales que se van imponiendo cada vez en más países.

Una molécula de éster metílico es molécula similar a la molécula de petróleo, son ambas moléculas hidrocarburatadas, la diferencia es que el éster contiene dos grupos funcionales de oxígeno por lo tanto durante el proceso de combustión, es lógico esperar que este oxígeno sea consumido. Mientras que la molécula de petróleo no tiene grupo funcionales de oxígeno y el aporte en su combustión es directo desde la atmosfera. La importancia del éster metílico es que es el Biodiesel. (César Mamaní y Luis A. Reque Terán).

I.3. BIOCOMBUSTIBLES OBTENIDOS A PARTIR DEL BIODIÉSEL

El Biodiesel ofrece diversas posibilidades de mezclas para la obtención de biocombustibles con los siguientes nombres y propiedades:

B20.- El biocombustible **B20** significa una mezcla del 20% de Biodiesel y el 80% de diesel normal. Es la mezcla de biocombustible de Biodiesel más utilizada en EEUU y en otros países se comercializa con amplia aceptación tanto el **B20** como el **B100**.

B100.- El biocombustible **B100** significa biodiesel al 100% sin mezcla alguna con diesel normal. Es un producto 100% ecológico con altas reducciones de emisiones

nocivas a la atmósfera. Su único inconveniente es que en los motores de vehículos antiguos, es preciso reemplazar los conductos de goma del circuito del combustible por otros materiales, debido a que el biodiesel ataca la goma, aunque hay varios estudios que indican que no es necesaria ninguna modificación en los motores.

OTRAS MEZCLAS. - En España en la actualidad hay ya diversas marcas y distribuidores que ofrecen Biodiesel con mezclas que se acercan a los estándares internacionales de B20 y B100. En la actualidad se espera una nueva regulación que marque la proporción de las mezclas y que se supone se adapte a los estándares internacionales de B20 y B100 para que el consumidor conozca exactamente qué biodiesel está utilizando en su motor. ¹

a) Usos específicos

- Transporte urbano de pasajeros en ciudades con elevado índice de smoke.
- Transporte en aeropuertos
- Navegación en lagos
- Reservas naturales y áreas protegidas
- Producción de cultivos orgánicos

b) Impacto ambiental

- Reduce en los escapes la fracción de carbono en partículas.
- Reduce la cantidad de monóxido de carbono.
- Reduce la cantidad de hidrocarburos no quemados.
- Reduce la emisión de hidrocarburos aromáticos policíclicos.
- Reduce la cantidad de óxidos de azufre.
- Los motores diésel ofrecen un beneficio neto de 45 a 71 % menos de emisiones de CO₂ en comparación con la gasolina.

¹ (RCubero, 2017)

c) **Ventajas de la utilización del Biodiesel**

El biodiesel presenta una larga variedad de ventajas, que será útil enumerar:

- No requiere mayores modificaciones para su uso en motores diésel comunes.
- Es obtenido a partir de aceites vegetales, totalmente renovables.
- Permite al productor agropecuario autoabastecerse de combustible.
- Permite a países agrícolas independizarse de los países productores de petróleo.
- Tiene un gran poder de lubricación y minimiza el desgaste del motor.
- Presenta un menor nivel de emisiones gaseosas de combustión nocivas.
- Su rendimiento en motores es similar al del gasoil derivado de petróleo.
- Puede utilizarse en mezclas con gasoil común en cualquier proporción.
- No requiere cambios de infraestructura para su adopción.
- No altera sustancialmente el torque o el consumo.
- Reduce en gran medida los humos visibles durante el arranque.
- Posee gran biodegradabilidad, comparable a la de la dextrosa.
- Es aproximadamente diez veces menos tóxico que la sal común de mesa.
- Su transporte y almacenamiento es más seguro dado su alto flash point.
- Puede producirse a partir de cultivos abundantes en el país, como la soja.
- Ya ha sido probado satisfactoriamente por más de 20 años en Europa.
- No contiene azufre, y permite el uso de catalizadores.
- Los proyectos de inversión asociados son una buena fuente de empleos.
- Se encuentra exento en el país de varios impuestos por el plazo de 10 años.
- El olor de combustión asemeja el olor a fritura, a diferencia del olor del gasoil.

En medioambientales y en comparación con el gasóleo convencional destaca la reducción de varias emisiones de monóxido de carbono, de partículas, de hidrocarburos, dióxido de carbono, óxidos de azufre. (Christian Lenoir, Artículo Análisis de la producción de Biodiesel).

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Elaborar un estudio de pre factibilidad para la obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales usados en Tarija.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio de mercado para determinar el mercado interno.
- Determinar tamaño y localización de la planta.
- Seleccionar el método para la obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales usados.
- Desarrollar la ingeniería del proyecto.
- Realizar balance de materia y energía del método seleccionado.
- Mencionar las especificaciones técnicas de los equipos y maquinarias, usadas en el proceso de obtención del producto.
- Evaluar la inversión y el financiamiento del proyecto, determinar los costos y beneficios.
- Evaluar económica y financieramente el proyecto, ya sea VAN y TIR, y/u otro indicador económico de apoyo.

1.5 JUSTIFICACIÓN

1.5.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

En los procesos productivos el factor fundamental es la rentabilidad que depende del aprovechamiento máximo de los recursos, siendo el biodiesel una alternativa de poder reusar los aceites comestibles, dándole así un valor agregado.

Es seguro y fácil de transportar debido a que es biodegradable y posee un punto de inflamación de 150°C contra 64°C del combustible diésel.

El biodiesel mejora el rendimiento y alarga la vida del motor y de sus componentes en contacto con el combustible, debido a su alto poder lubricante: reduce la fricción, el

desgaste y el ruido y mejora en la combustión al optimizar la potencia de la mecánica, en la siguiente tabla se realiza una comparación entre las características típicas del diésel y biodiesel.

TABLA i. 1.- Características Típicas de los Combustibles Diésel y Biodiesel

Datos físico-químicos	Biodiesel	Diésel
Composición combustible	Ester metílico ac. Grasos C ₁₂ -C ₂₂	Hidrocarburo C ₁₀ -C ₂₁
Poder calorífico inferior, kcal/kg (aprox.)	9.500	10.800
Viscosidad cinemática, cst (40 °C)	3,5 – 5,0	3,0 – 4,5
Peso específico, g/cm ³	0,875 – 0,900	0,850
Azufre, % p/p	0	0,2
Punto ebullición, °C	190 – 340	180 – 335
Punto inflamación, °C	120 – 170	60 – 80
Punto escurrimiento, °C	-15/+16	-35/-15
Numero cetanos	48 – 60	46
Relación estequiométrica aire/comb. p/p	13,8	15

Fuente: (Larosa, 2001) *Proceso de producción de Biodiesel*. (pág. 75).

La producción de biodiesel tiene como subproducto el glicerol bruto (10 % aproximadamente), la glicerina producida una vez refinada puede ser empleada en distintos campos como ser: industria química: plásticos, pinturas, conservantes, cosmética, farmacéutica, explosivos, aumentando su valor agregado.

1.5.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Nuestro país no abastece la demanda nacional de diésel, por lo que la importación, cerca del 34% de la demanda nacional de diésel, de este combustible es un aspecto importante en el país y la producción de biodiesel será una atractiva alternativa a dicha escasez.

La producción de biodiesel brinda la oportunidad de disminuir los niveles de importación de diésel de petróleo, así mismo reduciéndose los gastos por concepto de subvención.

En Tarija se incrementó los negocios de comidas rápidas y restaurantes; lugares de consumo de aceites por estos locales y restaurantes, estos aceites una vez usados son reutilizados lo que causa daños en la salud; o los aceites usados son vertidos sin control a los ríos provocando contaminación hídrica, la propuesta inmediata a este problema es el adquirir aceite usado de los negocios de comidas para someterlo a reacciones de esterificación y transesterificación para convertirlo en un recurso útil como el biodiesel, dándole un valor agregado.

La materia prima para la obtención de biodiesel son los aceites vegetales usados en los negocios de comidas, reciclados de una forma beneficiosa para la población de Tarija.

1.5.3 JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

La utilización del biodiesel lleva a un balance óptimo en el ciclo de carbono, evitando la acumulación de dióxido de carbono en el medio ambiente, lo cual no es nocivo para la salud, para la vegetación, los animales vivos y no dañan monumentos y/o edificios.

Por tal motivo su empleo es ventajoso frente al combustible diésel, sobre todo para el transporte público en las grandes ciudades. Sus emanaciones son menos ofensivas, por lo tanto, es más beneficioso su uso en lugares confinados. Su olor es comparable con el de las papas fritas y los operadores no demuestran irritación ocular. Desde que el biodiesel fue oxigenado, los motores tienen una combustión más completa que con gasoil.

El biodiesel es un combustible capaz de ofrecer buenas prestaciones en los porcentajes de mezclas que la ley dispone y su utilización es menos nociva para el medio ambiente.

Además de las consideraciones favorables desde el punto de vista ecológico y energético merece destacarse la posibilidad del empleo inmediato en los motores.

El biodiesel quema perfectamente no requiriendo ningún tipo de modificación en motores existentes pudiendo alimentarse alternativamente con este o combustible diésel o la mezcla de ambos. Desde el punto de vista del impacto ambiental y seguridad el proceso no es contaminante. Promover el reciclaje de aceites usados de la región para evitar contaminación hídrica, por ejemplo, un litro de aceite usado tiene la capacidad de contaminar un millón de l de agua y que en la fricción con el motor el lubricante se mezcla con metales pesados contaminantes.

1.6 MARCO TEÓRICO

El biodiesel es un biocombustible, nombre genérico de los biocombustibles para automoción, este líquido es producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales, siendo la colza, el girasol y la soja las materias primas más utilizadas para este fin.

Las propiedades del biodiesel son prácticamente las mismas que las del gasóleo de automoción en cuanto a densidad y número de cetano. Además, presenta un punto de inflamación superior. Por todo ello, el biodiesel puede mezclarse con el gasóleo para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si se adaptan éstos convenientemente.

La utilización de los aceites vegetales como combustible no es una novedad, Rudolph Diésel, inventor del motor diésel, ya utilizaba aceite de maní en sus motores en los años 1930, sin embargo, la viscosidad causante del mal comportamiento de los aceites vegetales especialmente en los motores diésel de inyección directa fue limitante en su utilización, no obstante, de probar métodos físicos como la dilución o micro emulsión para su adaptación como combustible. (Ma, F, Hanna y M.A, 1999).

1.6.1 Mezclas con gasolina

B2: 2% de biodiesel y 98 % diésel de petróleo. B5: 5% de biodiesel y 95 % diésel de petróleo. B10: 10% de biodiesel y 90 % diésel de petróleo. B15: 15% de biodiesel y 85 % diésel de petróleo. B20: 20% de biodiesel y 80 % diésel de petróleo. B100 sería biodiesel puro 100.

Tabla i. 2: Países con mezclas obligatorias

PAISES	PORCENTAJE DE MEZCLA
Argentina	B5 hacia el año 2010
Bolivia	B2,5 se encuentra en efecto desde 2007 y B20 hasta el 2015
Brasil	B4; B5 estará en efecto para 2010
Canadá	B2 hacia el año 2012
Colombia	B5 en efecto
Costa Rica	B2 en proceso de ejecución
Honduras	Hasta un B30, la unidad técnica de biocombustibles establecerá las mezclas de acuerdo con las condiciones prevalecientes
Panamá, Nicaragua, El Salvador y Guatemala	Estrategia energética sustentable centro América establece como meta sustituir el 15% del consumo de combustible fósil.
República Dominicana	B2 está en proceso de ejecución para el 2015
Ecuador	se propone B2,5 e incrementar a B20 a no más de 10 años
Estados Unidos de América	B2 en Louisiana y Washington
	B5 en Nuevo México
Paraguay	B1 desde el año 2008; E2 hacia el año 2011
Malasia	B5 desde el año 2008
Nueva Zelanda	B3,4 hacia el año 2012
Paraguay	B5 en proceso desde el año 2009
Perú	B7,8 hacia el año 2010
Reino Unido	B2,5 desde el año 2008; E5 hacia el año 2010
Tailandia	B3 hacia el año 2011
Uruguay	B2 está en efecto hasta 2011, B5 para 2012

Fuente: (REN21, 2016). Informe de Situación Global. *Renovables*.

1.6.2 Propiedades

El biodiesel se describe químicamente como compuestos orgánicos de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga y corta. El Biodiesel tiene mejores propiedades lubricantes y muchos más cetanos que el diésel de poco azufre. El agregar en una proporción Biodiesel al gasóleo reduce significativamente el desgaste del circuito de combustible; y, en baja cantidad y en sistemas de altas presiones, extiende la vida útil de los inyectores que dependen de la lubricidad del combustible. El poder calorífico del biodiesel es 37,27 MJ/L (mega joule por litro). Esto es un 9% menor que el diésel mineral. La variante de energía del biodiesel depende de la materia prima usada más que del proceso. El biodiesel es líquido a temperatura ambiente y su color varía entre dorado y marrón oscuro según el tipo de materia prima usada. Es inmiscible con agua, tiene un punto de ebullición alto y baja presión de vapor. Su punto de inflamación (mayor a 130°C) es sumamente superior a la del diésel (64°C) o la nafta (-40°C). Tiene una densidad de aproximadamente 0,88 g/cm³, menos que el agua. Más allá, tiene virtualmente ningún contenido de azufre y se suele mezclar como aditivo al diésel de bajo azufre. (César Mamani y Luis A. Reque Terán).

Es compatible con polietileno de alta densidad. Con PVC, lo degrada lentamente. Algunos polímeros los disuelve al contacto directo. Afecta a materiales basados en cobre, también ataca el zinc, el estaño, el plomo y hierro fundido, metales de acero inoxidable y aluminio son inmunes.

El biodiesel desgasta caucho natural de algunos componentes de motores antiguos.

1.6.3 Gelificación

Cuando el biodiesel se enfría a determinado punto, algunas moléculas se combinan y forman cristales. El combustible empieza a nublarse una vez que los cristales se hacen grandes, un cuarto de la longitud de onda de luz visible. Este punto se llama punto de enturbiamiento. Además, frío el combustible, más grandes son los cristales.

La menor temperatura en la cual el biodiesel pasa por un filtro de 45 micrones se la

llama punto de obstrucción de filtros en frío (CFPP en inglés). A menores temperaturas, el biodiesel se convierte en gel y luego solidifica.

La temperatura en la cual el biodiesel puro comienza a gelificarse, depende de la mezcla de ésteres y, consecuentemente, de la materia prima usada. Por ejemplo, si se produce a partir de sebo, tiende a convertirse en gel cerca de los 16°C. Hay muchos aditivos que se le agregan al biodiesel para disminuir esta temperatura.

Otra solución es mezclar biodiesel con diésel o queroseno. Otra es tener un tanque secundario de biodiesel acompañando el del diésel de petróleo: el primero arranca y calienta el segundo, una vez llegada a la temperatura necesitada, se cambia la alimentación. (César Mamaní y Luis A. Reque Terán).

1.6.4 Aceites y grasas

Por definición, los lípidos son compuestos biológicos que son solubles en solventes no polares como benceno, cloroformo y éter, son prácticamente insolubles en agua consecuentemente, estas moléculas son diversas tanto en lo referente a su estructura química como a su función biológica. Se distinguen entre ellos los ácidos grasos, las grasas, aceites, jabones, etc.

La denominación de grasas y aceites se refieren únicamente al estado físico sólido o líquido de este tipo de lípidos y no tienen ninguna relación con cualquier otra propiedad: la estructura y la química no varía, las grasas y aceites son ésteres formados por la condensación de ácidos grasos con glicerol.

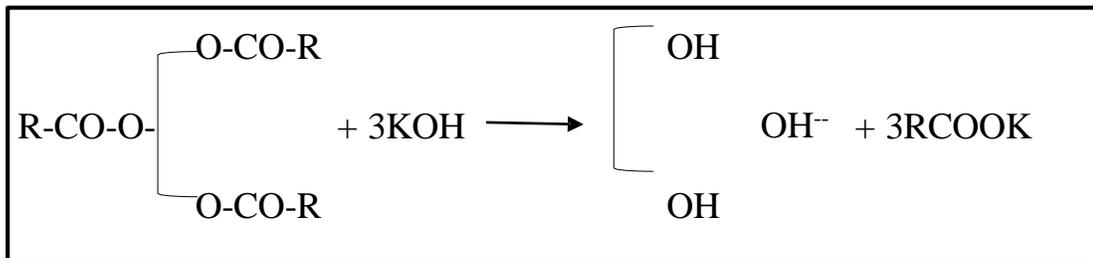
En general las grasas y aceites comestibles o alimenticias están formadas básicamente por triacilglicéridos (TAG), que consisten en mono, di o triésteres, ya que el glicerol es un triálcohol que puede dar origen a los compuestos mencionados. (Alais y Linden, 1990).

En la molécula del triacilglicerol se crea un centro quiralico si los dos grupos OH primarios del glicerol están esterificados con dos ácidos grasos diferentes. El número de TAG posibles se deduce del número "n" de ácidos grasos existentes en la grasa.

A. Hidrólisis

Por acción de los álcalis como KOH / CH₃OH, se escinde la grasa, resultando como productos glicerol y una sal de ácido graso (jabón), como se señala en la Figura i-2.

Figura i. 2 Hidrólisis de grasas y aceites



Fuente: Ardón Pérez, D. F. (2018). Estandarización del proceso de fusión de la grasa incorporada en la emulsión flotante de las trampas de grasa de los rastros de Avícola Villalobos, para su posterior uso como fuente de energía al quemarla en calderas pirotubulares (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).

A partir de la sal resultante se obtienen los ácidos grasos libres al ser acidificada, esta reacción es relevante desde el punto de vista analítico

B. Aceites vegetales de fritura.

La fritura es el proceso culinario o industrial que implica la utilización como medio de un aceite o grasa calentado a elevada temperatura, en el interior del cual se introduce el alimento para su preparación o cocción.

Numerosas variables conducen el avance del proceso y llevan a la optimización de las condiciones de fritura para cada tipo de producto.

Las principales variables a considerar son:

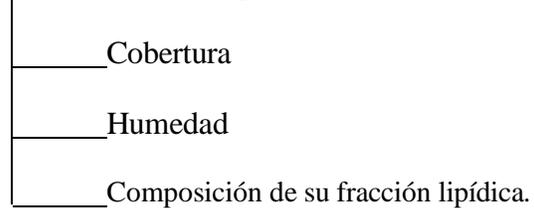
a) Dependientes del proceso

- ◆ Temperatura/Tiempo
- ◆ Método de fritura sartén
- ◆ Material del recipiente.

b) Dependientes del tipo de aceite

- composición del aceite
- Aditivos

c) Dependientes del alimento a freír _____ relación superficie/volumen



El conjunto de estas variables determina que las características del producto frito puedan resultar diferentes, así como que la alteración del medio de fritura también sea variable. El proceso de fritura es un método culinario que requiere un tiempo pequeño de preparación y confiere al alimento un aroma y textura más sabrosos favoreciendo la digestión de ciertos nutrientes. Por todo ello, el alimento es más aceptable para el consumidor. Como proceso térmico, destruye bacterias, toxinas y ciertos enzimas, además de disminuir la humedad relativa del alimento (Pokorny, 1999; Varela, 1994).

En el aceite de fritura se producen una gran cantidad de cambios físicos y químicos, como consecuencia de la interacción entre el aceite, el agua y otros componentes del alimento.

C. Aceites de fritura usados

La abundancia del aceite quemado es uno de los mayores factores contribuyentes al movimiento biodiesel de habla inglesa, la gran mayoría de los aceites quemados provienen de restaurantes y panaderías, pero también es posible conseguir aceite de plantas industriales de producción de alimentos. El aceite de fritura usado es una de las

alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiesel, ya que es la materia prima más barata, y con su utilización se evitan los costes de tratamiento como residuo.

D. Propiedades y composición del aceite antes de utilizar el proceso de fritura

En general, la selección del aceite y grasa de fritura está determinada por su precio y disponibilidad, así como por sus características tecnológicas.

Una amplia variedad de aceites y grasas refinadas son utilizados como medio de fritura (ver tabla i-3), donde los aceites mayoritariamente mono insaturados son los más utilizados, ya que presentan ventajas respecto a las grasas saturadas o parcialmente hidrogenadas por cuestiones relacionadas con la salud y también respecto a los aceites poli insaturados por cuestiones de estabilidad y calidad sensorial. (Sakuare y col., 2003; Kristott, 2002; Brinkman, 2000; Stevenson y col., 1984).

Tabla i. 3: Composición (%) de los ácidos grasos mayoritarios de los aceites más utilizados en las frituras

	Aceite de oliva	Aceite de girasol	Aceite de soja	Aceite de maíz	Aceite de algodón	Aceite de colza	Aceite de cacahuete	Aceite de coco	Palmiste	Aceite de palma	Oleína de palma
C 8:0 ¹								7,60	4,75		
C 10:0								5,75	3,80		
C 12:0								44,90	44,8		0,30
C 14:0					1,18		0,23	17,15	15,25	0,96	1,05
C 16:0	10,66	5,95	9,60	10,25	22,00	4,05	9,85	8,60	8,10	41,55	40,55
C 16:1	1,23	0,50	0,50	0,50	0,94	0,60				0,50	0,20
C 18:0	2,40	4,30	3,50	2,15	3,60	1,45	3,05	2,60	2,40	4,75	4,25
C 18:1n-9	72,35	20,50	20,40	28,45	17,75	58,55	53,65	6,70	13,80	37,05	41,85
C 18:2n-6	8,05	62,65	54,20	52,25	48,80	19,70	21,55	1,65	2,40	10,10	11,55
C 18:3n-3	0,85	0,50	7,70	0,93	0,74	9,15				0,50	0,35
C 20:0	0,41	0,39	0,50	0,50		0,49	2,40			0,50	0,40
C 20:1						4,45	1,40				
C 22:0							2,90				
C 22:1n-9						0,53					
C 24:0						0,60	1,40				

⁽¹⁾ C 8:0 (ácido caprílico); C 10:0 (ácido cáprico); C 12:0 (ácido láurico); C 14:0 (ácido mirístico); C 16:0 (ácido palmítico); C 16:1 (ácido palmitoleico); C 18:0 (ácido esteárico); C 18:1n-9 (ácido oleico); C 18:2n-6 (ácido linoleico); C 18:3n-3 (ácido linolénico); C 20:0 (ácido araquídico); C 20:1 (ácido eicosenoico); C 22:0 (ácido behénico); C 22:1n-9 (ácido erúcico); C 24:0 (ácido lignocérico).

Fuente Navas Sánchez, J. A. (2005). *Optimización y control de la calidad y estabilidad de aceites y productos de fritura*. Universitat de Barcelona.

E. Alteraciones en la composición del aceite de fritura

La fritura es un proceso de naturaleza muy compleja, en la que se ven implicadas numerosas reacciones que afectan a los componentes de la materia grasa que se utiliza como medio de fritura (Gertz, 2000; Orthoefer y col., 1996; Fedeli, 1988), tanto los componentes mayoritarios (TG), como los de componentes insaponificable (esteroles, tocoferoles, caroteno, etc.). A partir de tres agentes (agua, oxígeno y temperatura elevada), que actúan favoreciendo diversas reacciones, los componentes de los aceites sometidos a fritura experimentan diversas alteraciones tal como recoge la siguiente tabla.

Tabla i. 4: Principales grupos de compuestos formados en los aceites y grasas durante el proceso de fritura

TIPO DE ALTERACION	AGENTE CAUSANTE	COMPUESTOS NUEVOS RESULTANTES
HIDROLÍTICA	<i>HUMEDAD</i>	Ácidos grasos libres
		Diacilgliceroles
		Monoacilgliceroles
OXIDATIVA	<i>AIRE</i>	Monómeros oxidados
		Dímeros y polímeros oxidados
		Compuestos volátiles (aldehídos, cetonas, hidrocarburos, etc.)
		Oxido de esteroles
TÉRMICA	<i>TEMPERATURA</i>	Dímeros y polímeros no polares
		Monómeros cíclicos
		Isómeros trans y de posición

Fuente: Navas Sánchez, J. A. (2005). *Optimización y control de la calidad y estabilidad de aceites y productos de fritura*. Universidad de Barcelona.

Durante el freído, el aceite normalmente es sometido a temperaturas entre 160 °C y 190°C, en ocasiones, innecesariamente llegando por encima del punto de humo, en presencia de aire y luz por tiempos relativamente largos con varias reutilizaciones.

Estas condiciones causan cambios químicos, que dependen principalmente de la composición del aceite.

Las investigaciones realizadas por S. Paul (Paul S. & G. S. Mittal ,1996.), “permiten establecer que durante la utilización de los aceites comestibles se presentan tres tipos de alteraciones químicas”.

F. Reacciones hidrolíticas

El vapor producido durante la preparación de alimentos causa la hidrólisis de los triglicéridos, resultando en la formación de ácidos grasos libres, glicerol, monoglicéridos y diglicéridos.

Estos compuestos se forman dependiendo de muchas variables entre las cuales están la temperatura a la que se eleva el aceite durante el freído, el tiempo, el número de re-usos de aceite, la composición inicial de los lípidos del aceite, la composición de los alimentos sometidos a fritura, el grado de instauración del aceite y los aditivos entre otros. (Ruiz Méndez M. V., S. Marmesat, A. Liotta y M. C., 2008).

La combinación de los productos de todas esas reacciones químicas, pueden generar compuestos indeseables formados durante el freído, los cuales tienen efectos toxicológicos desconocidos al ser consumidos.

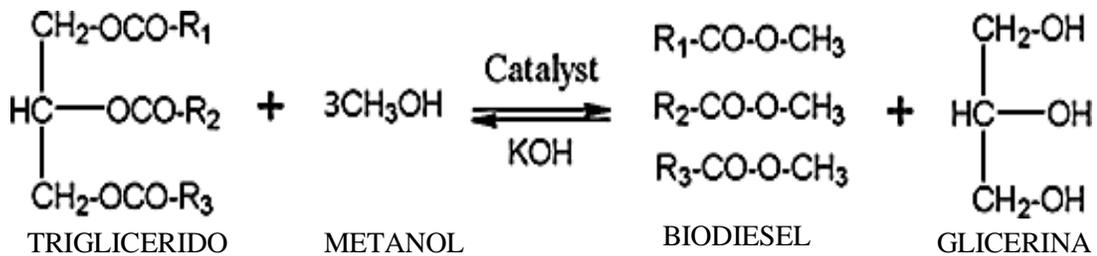
Todas las sustancias formadas durante el freído, poseen mayor polaridad que la inicial en el triglicérido, y esta polaridad es fácilmente cuantificable por cromatografía.

El contenido de estas sustancias polares en los aceites, se incrementa al recalentarse el aceite. La calidad del aceite comestible después de varios freídos, generalmente se basa en el contenido de estas sustancias.

a) Ácidos grasos libres

La reacción del agua con el aceite durante la fritura conduce a la liberación de ácidos grasos y ésteres parciales del glicerol, a partir de los triacilglicerol.

Figura i. 3: Alteración hidrolítica



Fuente: David, R. O. (2011). *Digestibilidad de los compuestos termooxidados y su influencia sobre la defensa antioxidante intestinal en rata. Efectos del ayuno y grado de alteración del aceite de fritura* (Doctoral dissertation, Universidad de Alcalá).

Los derivados de hidrólisis, es decir, ácidos grasos libres, mono y diacilglicerol, aunque no son muy relevantes desde un punto de vista cuantitativo (2,5-4% de acidez en aceites desechables), presentan una velocidad de oxidación y reactividad generalmente superior a la de los triacilglicerol de origen, por lo que se facilita la alteración en general.

La intensidad de este proceso de hidrólisis, que puede medirse mediante la acidez libre, depende de diversos factores (McSavage y Trevisan, 2001; Handel y Guerrieri, 1990), son los siguientes:

- La cantidad de agua en contacto con el aceite o grasa de fritura, el agua se introduce a través del producto que se sumerge para freír, por lo tanto, la humedad relativa del alimento es un factor clave, que en el caso de la patata puede llegar a ser del 80%.

- La superficie del alimento sumergido, o mejor dicho, la relación superficie/volumen de producto, a mayor valor de esta relación, mayor contacto entre el aceite y el agua del producto.
- La temperatura de fritura. Una temperatura elevada favorece la formación de ácidos grasos libres (AGL).
- La presencia excesiva de partículas sólidas residuales en el aceite de fritura acelera la formación de ácidos grasos libres. En cambio, la formación de espuma en la superficie del aceite minimiza esta reacción hidrolítica.
- El desarrollo de la acidez libre en el aceite sigue un curso paralelo al de otras reacciones de alteración durante la fritura (Orthofer y Cooper, 1996), por ello, dicha acidez suele ser un parámetro muy utilizado para el control de los aceites usados en la cuba de fritura. Los ácidos grasos libres son además un factor negativo, pues favorecen la formación de humo.

G. Alteraciones oxidativas

Los ácidos grasos insaturados pueden reaccionar con oxígeno molecular, vía mecanismo de radicales libres. Los hidroperóxidos formados como productos primarios durante la reacción, pueden formar numerosos compuestos tales como hidroperóxidos isómeros que contienen grupos dienos conjugados.

Los hidroperóxidos también producen muchas sustancias con distintos pesos moleculares de importancia biológica. Los radicales alcoxi, están formados vía ruptura del enlace O-O de hidroperóxidos. Estos radicales alcoxi pueden ganar o perder átomos de H para formar hidróxidos o ceto derivados respectivamente.

Varias sustancias químicas como aldehídos, hidrocarburos, y ácidos, se forman por la descomposición de los radicales alcoxi. En la presencia de oxígeno del aire en exceso, los radicales alcoxi y peróxidos pueden ser transformados en compuestos dímeros y oligómeros.

Su concentración se incrementa con el tiempo de fritura y su máximo se encuentra a las 70 horas (Perkins, 1996). La Tabla recoge datos de los principales compuestos volátiles formados en la oxidación de aceites vegetales.

Tabla i. 5: Componentes volátiles ($\mu\text{g}/\text{kg}$) más abundantes originados en la oxidación de aceites vegetales

Componente	Maíz	Colza (b.er.)	Soja	Girasol	Girasol (a.ol.)
	IP=3,0	IP=3,5	IP=4,5	IP=19,6	IP=6,7
Propanol	8,9	10,9	4,5	2,8	4,0
Pentano	53,4	39,9	91,9	281,0	134,4
Pentanal	24,0	59,5	44,0	40,1	20,5
Pentanol		4,6		1,6	3,4
Hexanal	85,5	64,0	70,6	118,9	35,0
2-pentenol		5,8	3,6		
2-hexenal	5,7	5,7	6,4	7,3	10,4
2-heptenal	18,4	21,2	30,1	34,8	20,7
Octen-3-ol	0,7	3,1	1,1	1,2	
2,4-heptadienal		60,3	50,0		
Nonanal	3,4	8,6	3,4	1,0	23,8
2,4-decadienal	16,0	14,8	16,4	30,4	24,5

(simbología: IP=índice de peróxidos; b.er.=bajo en ácido erúxico; a.ol.= alto en ácido oleico).

Fuente: Navas Sánchez, J. A. (2005). *Optimización y control de la calidad y estabilidad de aceites y productos de fritura*. Universidad de Barcelona.

1.6.5. Consumo de aceites y grasas comestibles en Bolivia

El consumo de grasas animales, ha sido importante hace más de 30 años, cambiando paulatinamente este hábito hacia el consumo de aceites principalmente de soja y sus derivados como las margarinas.

Sin duda este cambio se debió al cultivo de oleaginosas como la soja que se inició hacia los años 1960, cuya producción se ha ido incrementando alcanzando en los últimos años a 1310 millones de toneladas, lo que le coloca al país entre los cinco principales exportadores del mundo, después de Estados Unidos, Argentina, Brasil y Paraguay.

Figura i. 4: Semilla de Soja



Fuente: Valencia Ramírez, R. A. (2006). Origen, taxonomía y morfología de la soya.

Toda la demanda interna de aceites comestibles y margarinas podría ser abastecida con la producción nacional, pero también ingresan productos de importación y/o contrabando.

El consumo interno de aceite de soya es 57600 toneladas, o sea 72 millones de litros anuales aproximadamente, no se tienen datos sobre el porcentaje de aceite remanente que queda después de ser usado. Se considera un 20% de diferentes apreciaciones se dispondría de 14,2 millones de aceite usado/ año. (Ministerio de Planificación del Desarrollo, 2010).

1.6.6. Normas para la Obtención del Biodiesel

Existen muchas normas que especifican los requerimientos mínimos de calidad que debe cumplir un biodiesel como combustible y también como éster.

Entre las normas más completas para el biodiesel se encuentran las ASTM D6751 y las normas europeas EN14214 que especifican los rangos que deben cumplir los diferentes parámetros y los procedimientos para la determinación de los mismos.

Tabla i. 6: Normas para el biodiesel como combustible

Propiedad	Unidad	ASTM D975-97 Diésel	ASTM D6751 Biodiesel	ISO Biodiesel
Punto de inflamación	°C	38	130	>101
Viscosidad cinemática (40°C)	mm ² /s.	1,3 a 2,4	1,9 a 6,0	3,5 a 6,0
Agua y sedimento	% vol.	0,05	0,05	500 mg/kg.
Cenizas sulfatadas	%p/p	0,01	0,02	0,02
Azufre máx.	%p/p	0,5	0,05	10 mg/kg
Índice de cetano min.		40		51
Número de cetano min.		40	47	
Punto Nube		A reportar	A reportar	A reportar
Residuo de carbón máx.	%p/p	0,35	0,05	
Número de ácido máx.	KOH mg/g		0,80	
Fósforo	%p/p		0,001	10 mg/kg
Punto final de destilación	°C, 90%	282-338	360 (Al vacío)	
Corrosión al cobre	3h a 50°C	No 3 máx.	No 3 máx.	No 1 máx.

Fuente Avellaneda Vargas, F. A. (2010). *Producción y caracterización de biodiesel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal*. Universitat Rovira I Virgili. pág. 101

ASTM: Normas americanas.

EN: Normas europeas.

ISO: Normas internacionales.

CAPÍTULO I
ESTUDIO DE MERCADO

ESTUDIO DE MERCADO

El tener un buen estudio de mercado es importante debido a que los capítulos posteriores que se desarrollen dependen de este, además es importante el estudio de mercado porque es la base del dimensionamiento y escala del proyecto, como para el análisis financiero y económico del proyecto.

Se realizará el capítulo, considerando las situaciones actuales de oferta y demanda.

1.1. GENERALIDADES

El biodiesel es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, con o sin uso previo, mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación, y que se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del petrodiesel o gasóleo obtenido del petróleo.

En un sentido amplio, el biodiesel implica tres grupos diferentes de reacciones según un éster reacciona con un alcohol (transesterificación), con un ácido carboxílico (acidólisis) o con otro éster (interesterificación). (Pablo Arévalo, José Ulloa y Servio Astudillo). Constituye una fuente renovable de recursos energéticos de fácil producción que resulta competidora del petróleo.

1.1.1. Propiedades

El biodiesel se describe químicamente como compuestos orgánicos de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga y corta. El Biodiesel tiene mejores propiedades lubricantes y muchos más cetanos que el diésel de poco azufre. El agregar en una proporción Biodiesel al gasóleo reduce significativamente el desgaste del circuito de combustible; y, en baja cantidad y en sistemas de altas presiones, extiende la vida útil de los inyectores que dependen de la lubricidad del combustible. El poder calorífico del biodiesel es 37,27 MJ/L (mega joule por litro) aproximadamente. Esto es un 9% menor que el diésel mineral. La variante de energía del biodiesel depende de la materia prima usada más que del proceso. El biodiesel es líquido a temperatura ambiente y su color varía entre dorado y marrón oscuro según el tipo de materia prima usada. Es inmiscible con agua, tiene un punto de ebullición alto y baja presión de vapor.

Su punto de inflamación (mayor a 130°C) es sumamente superior a la del diésel (64°C) o la nafta (-40°C). Tiene una densidad de aproximadamente 0,88 g/cm³, menos que el agua. Más allá, tiene virtualmente ningún contenido de azufre y se suele mezclar como aditivo al diésel de bajo azufre. (Mamani Ramírez C. A.)

1.1.2. Características del Biodiesel

Actualmente los países de la Unión Europea, Estados Unidos, Francia, Brasil, Argentina y Colombia entre muchos otros, han apoyado la utilización de biocombustibles con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, impulsar la descarbonización de los combustibles del transporte, diversificar las fuentes de su abastecimiento, desarrollar alternativas al petróleo a largo plazo, utilizar tierras ociosas y reforestar la capa vegetal (Singh, S.P., Singh, D. 2010). Producen menos daño ambiental que la gasolina o el diésel.

1.1.3. Compatibilidad y seguridad

El biodiesel, además de provenir de una fuente renovable, puede ser almacenado en los mismos lugares donde se almacena el diésel de petróleo sin necesitar cambios de infraestructura. Es un combustible más seguro y fácil de manipular debido a su alto punto de ignición (flash point, aproximadamente a 150°C) comparado con el del diésel que es aproximadamente 60°C (Van Gerpen, J. 2005). Su grado de ignición es menor al de la gasolina, por consiguiente, es más seguro.

1.1.4. Limpio y ecológico

Su nivel de emanaciones tóxicas es bajo, por lo cual mejora la calidad del aire y agua. Produce menores emisiones de monóxido de carbono (CO) al emplearse como aditivo de la gasolina. Al consumirse emite menos dióxido de carbono (CO₂) que la gasolina.

El biodiesel es un carburante limpio, ya que cuenta con componentes de origen vegetal y no emplea ningún derivado del azufre. Comparado con el gasóleo A produce un 30% menos de emisión de CO₂ y un 40% menos de emisión de humos.

De la misma manera reduce las emisiones de dióxido de carbono (78% menos) y dióxido de azufre (SO₂), material particulado (MP), metales pesados, monóxido de carbono (CO), y compuestos orgánicos volátiles (Kumar, D., Kumar, G., Poonam, Singh, C.P. 2010).

1.1.5. Lubricidad

El contenido de oxígeno del biodiesel mejora el proceso de combustión y disminuye su potencial de oxidación.

La eficiencia de combustión es más alta que el diésel debido al aumento de homogeneidad de la mezcla oxígeno con el combustible durante la combustión.

El biodiesel contiene 11% de oxígeno en peso y no contiene azufre (Gilberto García Sánchez, Yesser Alfaro L. y Manuel Esteban Ruiz Ortega, 2012).

El uso del biodiesel puede ampliar la vida útil de los motores porque posee mejores cualidades lubricantes que el combustible de diésel de petróleo.

1.2. ESTRUCTURA DEL MERCADO REGIONAL, NACIONAL O INTERNACIONAL

El mercado del biodiésel a nivel regional por el momento no existe debido a que no existe una planta de proceso de biodiesel en Tarija es por eso que el presente estudio sirve para determinar si es factible realizar una planta de obtención de biodiesel en Tarija.

Actualmente el diésel oil obtenido a partir de derivados del petróleo es el producto más usado en el mercado interno para los sectores automotores.

Las refinerías más importantes nacionales donde se produce el diésel oil en grandes cantidades son Gualberto Villarroel, Guillermo Elder Bell y Oro Negro.

Tabla I- 1: Productos Regulados y No Regulados
Refinerías

Refinería	Ubicación	Productos	
		Regulados	No Regulados
Gualberto Villarroel	Cochabamba Valle Hermoso	GLP Gasolina Especial Gasolina Premium Gasolina de Aviación Jet Fuel Kerosene DiéselOíl	Crudo Reducido Nafta Liviana Aceites Base Aceites Terminados Grasas Parafinas Asfaltos Crudo Reconstituido
Guillermo Elder	Santa Cruz Palmasola	GLP Gasolina Especial Gasolina Premium Gasolina de Aviación Jet Fuel Kerosene DiéselOíl	Crudo Reducido Nafta Liviana Crudo Reconstituido
Oro Negro	Santa Cruz Capo La Peña	GLP Gasolina Especial Diésel Oíl Agro Fuel	Crudo Reducido Gasolina Blanca Crudo Reconstituido

Fuente: Estrategia Boliviana de Hidrocarburos (2019). Agencia Nacional de Hidrocarburos (**ANH**)

Este estudio se realiza solo el mercado regional, su estudio esta solo enfocado a la ciudad de Tarija. Contando con materias primas de la región, es decir con aceites vegetales usados por restaurantes y locales de comida rápida ubicadas dentro de la ciudad de Tarija.

1.3. DESCRIPCIÓN Y ESPECIFICACIONES DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS.

1.3.1. Materia Prima

Las materias primas más comunes utilizadas para la fabricación de biodiesel son los aceites de fritura usados y aceites vegetales. Cualquier materia que contenga triglicéridos puede utilizarse para la producción de biodiesel.

1.3.2. Aceites usados

Los aceites de fritura usados son de mejor perspectiva porque la materia prima es más económica y con su uso se evita el costo de tratamiento como residuo.

Además, los aceites usados tienen bajo nivel de reutilización. Evita la complejidad de depurar el agua y es problemática su captación.

La industria de alimentos emplea desde hace años, aceites vegetales para procesos de cocción o frituras. Terminado el proceso, el aceite quemado se desecha a drenajes sin recibir un tratamiento previo. Al no contar con alternativas del uso o reciclaje de los aceites empleados, estos terminan vertidos como desechos.

Un litro de aceite convierte 1 millón de l de agua potable en agua inutilizable y esto es debido a que el aceite flota sobre el agua y es muy difícil de eliminar o separar. (Fennema, 1993).

Este problema es ocasionado no solo por la actividad comercial sino por la domiciliaria, ya que en todos los hogares se generan aceites usados, que, por los pequeños volúmenes y su dispersión, no pone en evidencia el problema. Esto contribuye diariamente a la contaminación ya que no existe un mecanismo para la recolección de estos residuos

En algunos casos a estos aceites usados, que contienen gran cantidad de compuestos oxigenados (epóxidos) dañinos para la salud de las personas, se los revende como aceites comestibles para panaderías lo que genera un problema grave de contaminación de los productos que van directo al consumidor.

El aceite usado es una de las alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiesel, ya que es la materia prima más barata, y con su utilización se evitan los costes de tratamiento como residuo.

Además, como valor añadido, la utilización de aceites usados significa la buena gestión y uso del residuo, el presente proyecto propone reciclar aceite de fritura y convertirlo en biodiesel

1.3.3. Productos

El producto que se obtendrá es el biodiesel y como subproducto la glicerina.

1.3.3.1. Proceso productivo

El procedimiento de obtención de combustible a partir de aceites, implica en el caso de aceites vegetales puros, una serie de reacciones que provocan impurezas aportadas por la materia prima.

Estas impurezas están puntualmente identificadas y sus contenidos son aceptados por las normas vigentes. Los compuestos químicos indeseables provenientes de los aceites se potencian en el caso de los aceites usados.

El proceso de obtención más común que se utiliza es con reacciones de transesterificación; consta hacer reaccionar los triglicéridos de las grasas o aceites vegetales con un alcohol de bajo peso molecular (metanol o etanol).

1.3.3.2. Transesterificación

Cuatro métodos han sido investigados para reducir la alta viscosidad de aceites vegetales, y así permitir su uso en motores diésel sin problemas operacionales como formación de incrustaciones y depósitos: el uso de mezclas binarias con petrodiesel, pirolisis, microemulsificación y transesterificación.

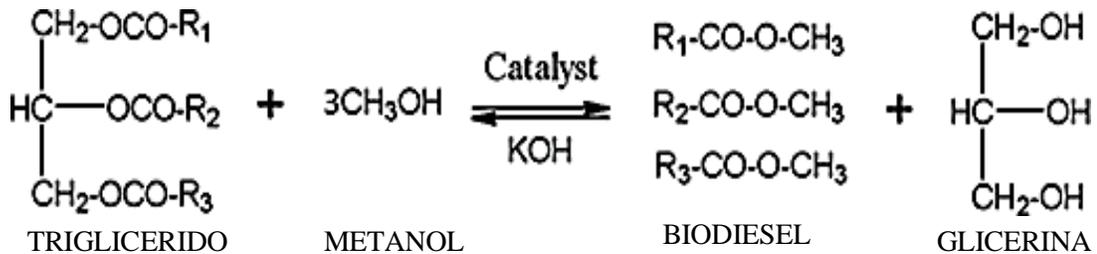
La transesterificación es por mucho el método más común, y se combina con la mezcla binaria biodiesel petrodiesel.

Un catalizador es usualmente utilizado para proporcionar la velocidad y aumentar el rendimiento de la reacción. Debido a que la reacción es reversible, se utiliza un exceso

de alcohol para alterar el equilibrio químico hacia los productos secundarios.

La reacción puede ser catalizada por ácidos, hidróxidos o enzimas y es la siguiente:

Figura 1- 1: Reacción de transesterificación del triglicérido



Fuente: López, L., Bocanegra, J., & Malagón-Romero, D. (2015). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado. *Ingeniería y Universidad*,

La reacción se desarrolla empleando una proporción molar de alcohol a triglicérido de 3 a 1, reaccionando en la alcoholólisis 1 mol de triglicérido con 3 moles de alcohol. La formación de la base de la glicerina, inmiscible con los ésteres alquílicos, juega un papel importante en el desplazamiento de la reacción hacia el lado de productos, la derecha, alcanzándose conversiones cercanas al 100%. (Manuel Francisco Cifuentes Guerrero, 2010).

El glicerol y los ésteres son productos inmiscibles que se distribuyen en dos fases después de la reacción. Estas fases pueden ser separadas después de decantar o centrifugar

Los productos a obtener en esta reacción son: glicerol y éster metílico; esta molécula de éster metílico es similar a la molécula de petróleo. La molécula de éster metílico es conocida como Biodiesel.

El biodiesel es un biocombustible renovable por que se obtiene a partir de grasa y aceites vegetales.

1.3.3.3. Biodiesel

Es el nombre vulgar otorgado al methyl-ester, el cual es aquel tipo especial de biocombustible cuyo insumo principal para su producción es el aceite vegetal.

Desde un punto de vista técnico, el biodiesel es obtenido mediante un proceso de mezcla de ésteres y ácidos grasos saturados e insaturados. La cadena de reacciones químicas involucradas en su obtención es denominada transesterificación del aceite vegetal.

Los ésteres metílicos derivados de los aceites vegetales (biodiesel) poseen unas características físicas y fisicoquímicas parecidas al gasóleo, lo que permite mezclarlos en cualquier proporción y usarlos en los vehículos Diésel convencionales, sin realizar importantes modificaciones en el diseño básico del motor.

Sin embargo, en proporciones superiores al 5% es necesario reemplazar el material empleado en el circuito de alimentación de combustible por otro más resistente, ya que se puede deteriorar por el mayor poder disolvente del biodiesel.

Este biodiesel se puede utilizar puro o bien mezclado en distintas proporciones junto con el gasóleo de automoción, siendo ésta la forma más habitual de utilización.

1.3.3.4. Glicerina subproducto del Biodiesel.

En la síntesis del biodiesel, se forman entre el aceite y el alcohol, normalmente metílico, ésteres de una proporción aproximada del 90 % más un 10 % de glicerina.

La glicerina representa un subproducto muy valioso que de ser refinada a grado farmacológico puede llegar a cubrir los costos operativos de una planta productora. La glicerina es eliminada del proceso cuando se procede al lavado con agua. Sin embargo, la glicerina puede encontrarse en el biodiesel como consecuencia de un proceso inapropiado, como puede ser una insuficiente separación de la fase de glicerina o un insuficiente lavado con agua.

La glicerina se emplea en la fabricación, conservación, ablandamiento y humectación de gran cantidad de productos, éstos pueden ser resinas alquílicas, celofán, tabaco,

explosivos (nitroglicerina), fármacos y cosméticos, espumas de uretano, alimentos y bebidas, etc.

Estas glicerinas tienen un valor económico positivo y su comercialización forma parte de la rentabilidad del biodiesel.

1.4. ANÁLISIS DE LA OFERTA Y LA DEMANDA DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS.

1.4.1. Estudio de la oferta

1.4.1.1. Oferta de biodiesel en el mundo

Según la IEA, los biocombustibles comenzaron a producirse a finales del siglo XIX. En los años de la década de 1940, debido a la caída de los precios de los combustibles fósiles se detuvo la producción de biocombustibles. El interés por la producción de biocombustibles reapareció a mediados de los años 1970, básicamente para su comercialización en el sector transporte. En esta época, Brasil producía etanol a partir de la caña de azúcar y Estados Unidos, a partir del maíz. En los últimos diez años, la producción de biocombustibles ha tenido un mayor crecimiento.

La producción de biocombustibles a nivel mundial ha crecido exponencialmente en los últimos años. Su desarrollo se ha visto favorecido por la subida del precio del petróleo y las políticas de subvención pública adoptadas por los distintos países para cumplir con las exigencias del Protocolo de Kioto.

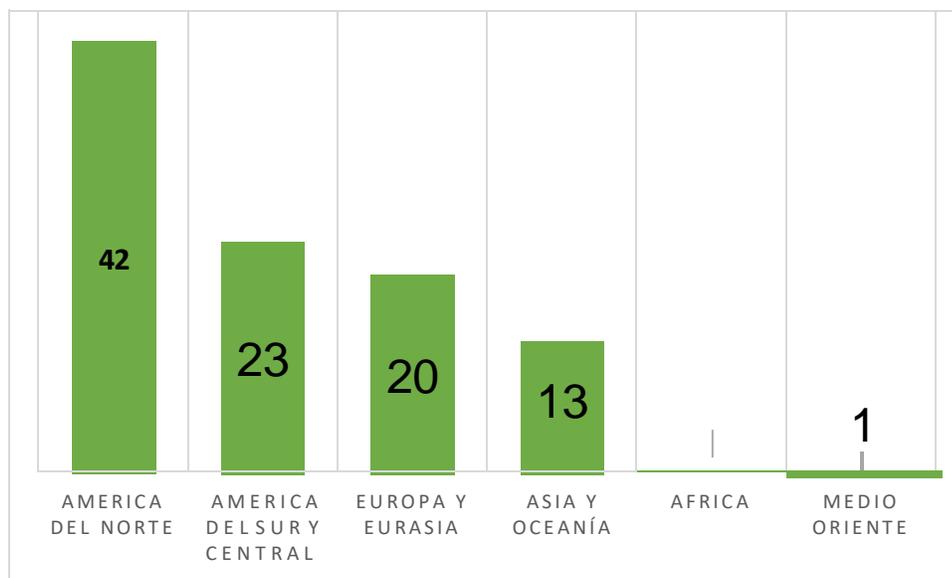
El continente americano concentra más del 95% de la producción mundial de bioetanol, mientras que la producción de biodiesel procede principalmente de la Unión Europea, tal como señala el Informe Sectorial 2010 de Infinita Renovables.

Según British Petroleum, la producción global de biocombustibles aumentó desde 295 MBPD en el año 2003 a 1 503 MBPD en el año 2015. Según la IEA, en el 2011, los biocombustibles representaron el 3% del combustible utilizado en el transporte por carreteras y en algunos países alcanzó una mayor participación. Por ejemplo, el biocombustible representó el 21% del combustible usado en Brasil para el transporte

por carreteras, mientras que en Estados Unidos representó el 4%. (International Energy Agency (2011). Technology Roadmap. Biofuels for Transport, pp. 11.).

Los expertos sostienen que en los próximos años el sector de los biocombustibles seguirá expandiéndose, pero a un ritmo diferente. Las previsiones indican que el mercado mundial de bioetanol se duplicará, debido principalmente a la rápida expansión de los biocombustibles en Estados Unidos, y el de biodiesel crecerá considerablemente en Europa.

Figura 1- 2: Producción de biodiesel por continentes (%)



Fuente: Vásquez Cordano, A., Sandoval, D. L. C., & Coello Jaramillo, F. (2019). *Los Biocombustibles: Desarrollos recientes y tendencias internacionales* (No. 36). Osinergmin, Gerencia de Políticas y Análisis Económico.

-Según EurObserv'ER, al 2019, la capacidad de producción de biodiesel instalada en Europa alcanzaba los 7 millones de toneladas, con Francia como el país que concentra el 39%, seguido de Alemania (23%), Finlandia (17%) e Italia (12%). En términos del número de plantas, en Alemania se localizan 9 plantas de producción, mientras que en Francia cuenta con 7 plantas. La empresa con la mayor capacidad de producción es Avril (2.7 millones de toneladas) y se localiza en Francia.

Tabla I- 2: Capacidad de producción de las principales empresas productoras de Biodiesel en Europa

<i>Empresa</i>	<i>País</i>	<i>Número de plantas</i>	<i>Capacidad de producción (toneladas)</i>
Avril (antes Sofipetrol)	Francia	Francia (7), Alemania (2), Italia (2), Austria (1), Bélgica (1)	2.700.000
Neste Oil	Finlandia	Finlandia (2), Países Bajos (1)	1.180.000
ADM Biodiesel	Alemania	Alemania (3)	975.000
Infinita (Musim Mas)	España	España (2)	600.000
Marseglia Group (Ital Green Oil and Ital Bi Oil)	Italia	Italia (2)	560.000
Verbio AG	Alemania	Alemania (2)	450.000
Eni	Italia	Italia (1)	300.000
Petrotec	Alemania	Alemania (2), España (1)	185.000

Fuente: Vásquez Cordano, A., Sandoval, D. L. C., & Coello Jaramillo, F. (2019). *Los Biocombustibles: Desarrollos recientes y tendencias internacionales* (No. 36). Osinergmin, Gerencia de Políticas y Análisis Económico., pag. 19.

Según la misma fuente, en el 2014 la capacidad de producción de bioetanol en Europa superó los 5.7 mil millones de l. En términos del número de plantas, en Francia se localizan 12 plantas de producción, mientras que Alemania, España, Reino Unido y República Checa, cuentan todos con 3 plantas. La empresa con la mayor capacidad de producción es Abengoa Bioenergy (1.3 mil millones de l). Es importante recalcar también que los insumos más utilizados son los cereales, el trigo y el jugo de azúcar refinada.

Tabla I- 3: Capacidad de producción de las principales empresas productoras de Bioetanol en Europa

<i>Empresa</i>	<i>País</i>	<i>Numero de plantas</i>	<i>Capacidad de producción (millones de l)</i>	<i>Materia Prima</i>
Abengoa Bioenergie	España	España (3), Países Bajos (1), Francia (1)	1.281	<i>Cebada, trigo, maíz, fracción renovable de residuos municipales.</i>
Crop Energies	Alemania	Alemania (1), Bélgica (1), Francia (1), Reino Unido (1)	1.200	<i>Jugo de azúcar, trigo, maíz, triticale</i>
Tereos	Francia	Francia (6), Rep. Checa (3), Bélgica (1), Reino Unido (1)	1.260	<i>Jugo de azúcar, trigo</i>
Cristanol	Francia	Francia (4)	550	<i>Jugo de azúcar, trigo</i>
Vivergo	Reino Unido	Reino Unido (1)	420	<i>Trigo</i>
Agrana	Austria	Austria (1), Hungría (1-50%)	420	<i>Trigo, maíz</i>
Verbio	Alemania	Alemania (2)	340	<i>Cereales (principalmente centeno)</i>
Agroetanol	Suecia	Suecia (1)	250	<i>Trigo</i>

Fuente: Vásquez Cordano, A., Sandoval, D. L. C., & Coello Jaramillo, F. (2019). *Los Biocombustibles: Desarrollos recientes y tendencias internacionales* (No. 36). Osinergmin, Gerencia de Políticas y Análisis Económico

América Latina

En América Latina también surgió un interés por la producción y uso de biocombustibles, por lo que se ha desarrollado un marco legal relacionado a la promoción de los Biocombustibles. Así, se han establecido porcentajes de mezcla en contenido volumétrico de biocombustibles, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla I- 4: Porcentaje de mezcla de biocombustibles en América Latina

País	Mezcla
Argentina	90% Diésel + 10% Biodiesel 88% Nafta + 12% Bioetanol
Bolivia	80% Diésel + 20% Biodiesel (2015)
Brasil	93% Diésel + 7 % Biodiesel 82% Gasolina + 18% alcohol etílico anhidrido (mínimo) 72,5% Gasolina + 27,5 alcohol etílico anhidrido (máximo)
Colombia	90% a 92% Diésel + 8% a 10% biodiesel según región 92% gasolina + 8% alcohol carburante
Ecuador	90% Gasolina + 10% Etanol
Perú	92,2% Gasolina + 7,8 alcohol carburante 95% Diésel + 5% Biodiesel (DS 013-2005-EM)

Fuente: Vásquez Cordano, A., Sandoval, D. L. C., & Coello Jaramillo, F. (2019). *Los Biocombustibles: Desarrollos recientes y tendencias internacionales* (No. 36). Osinergmin, Gerencia de Políticas y Análisis Económico Pag. 15

Brasil destaca como el principal productor de biocombustibles en Latinoamérica (29,35 millones de l producidos en 2015 según USDA) y según Business News Américas (BNAméricas, 2013), entre las principales potencialidades que presenta con respecto a la producción y comercialización de biocombustibles destaca la importante tasa de crecimiento promedio anual de 8.3% que pronostica la EIA para la producción de biodiesel en los periodos 2012-2018.

La segunda industria más importante de biocombustibles en Latinoamérica la tiene Argentina, según BNAmericas (2013), quien enfatiza que destaca por su nivel de desarrollo e industrialización, pues en ésta predominan las empresas multinacionales con producciones a gran escala destinadas principalmente a la exportación. Asimismo, indica que la producción argentina se basa principalmente en biodiesel a partir de la soya, dado que este país es uno de los principales productores mundiales de este grano juntamente con Estados Unidos y Brasil. La USDA (2015f) indica que las empresas productoras en Argentina produjeron más de 2 mil millones de l de biodiesel en el 2015. En relación a los demás países de la región, BNAmericas (2013) destaca la participación de Colombia calificándolo como el tercer productor de biocombustibles a nivel regional.

Según datos publicados por la USDA (2015a), la producción de etanol a partir de la caña de azúcar fue de 406 millones de l (MMl) en el 2014, y la de biodiesel extraído de la palma aceitera fue de 606 MMl en el mismo año. El principal potencial con el que cuenta Colombia, según BNAmericas, se encuentra en las normas de mezcla obligatoria de 8-10% en etanol y de 10% para biodiesel, las cuales son unas de las más altas en la región. Asimismo, la USDA (2015a) indica que la industria de biocombustibles colombiana cuenta con 6 plantas de etanol, - teniendo previsto ampliar una más para el 2016- y 6 plantas de biodiesel, algunas de las cuales, según BNAmericas, cuentan con la participación de la petrolera estatal Ecopetrol. Finalmente, BNAmericas propone que el reto actualmente para las productoras colombianas de biocombustibles se centrará en el hecho de obtener la certificación correspondiente para poder comercializar su biocombustible en el mercado internacional dada la fuerte barrera que ha impuesto el mercado norteamericano y la UE para su comercialización. Sin embargo, según lo reportado por la USDA (2015a) Colombia necesitará incrementar primero su demanda para incentivar la oferta y cubrir con producción interna el porcentaje de mezcla obligatoria.

1.4.1.2. Oferta de materia prima: aceites vegetales usados en Tarija

Vivimos en una época donde la comida rápida o “comida chatarra” está acaparando el mercado mundial, y Tarija no ha sido la excepción.

Este tipo de comida es muy popular por lo sencillo de su elaboración, su precio relativamente barato, su amplia distribución comercial que la hace muy fácilmente accesible y la presión de la publicidad.

Figura 1- 3: Fotos de la intendencia municipal de comida rápida

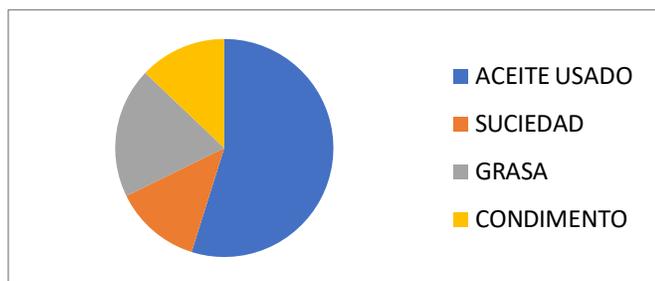


Fuente: Castellanos-Pérez, L. (2021, 9 de junio) Venta informal de comida rápida aumentó un 300% en Tarija, *El País*. https://elpais.bo/tarija/20210609_venta-informal-de-comida-rapida-aumento-un-300-en-tarija.html

El mercado de comida rápida aumentó considerablemente en el departamento, en locales y restaurantes es donde mayormente se desecha los aceites vegetales usados en cantidades grandes ya que este rubro de alimentos fritos se ha vuelto popular comercializar.

En una encuesta de 50 personas que consumen comida rápida se pudo verificar que uno de los problemas mayores de estos locales son los alimentos hechos con aceites guardados o en mal estado.

Figura 1- 4: CAUSAS QUE AFECTAN LA SALUD EN LOS ALIMENTOS



Fuente: Elaboración propia (2022); datos de encuesta (ver anexo C)

Se realizó una encuesta (ver Anexo B) a una mayoría de snacks, locales y restaurantes populares que se encuentran en la ciudad de Tarija.

Donde se confirmó que si existe materia prima; aceites de frituras; que desechan por falta de financiamiento para almacenaje de estos residuos. A continuación, se encuentran tabulados los datos más importantes para un estudio de oferta de aceites de frituras.

Tabla I- 5: Datos recolectados de la encuesta Restaurantes, snack y casas de la ciudad de Tarija

	1	2
Número de encuestados	77	76
Total, consumo de aceite (l/día)	2.992	3.685
Total, aceite usado (l/día)	133,3	189,7
Promedio del precio de materia prima (bs)	0,50	0,70

Fuente: Elaboración Propia, (2020-2021) de Encuesta (ver Anexo B),

1.4.1.3. Oferta nacional de diésel oíl

La oferta nacional de biodiesel no existe porque no se produce este biocombustible, por esto se estudiará la oferta de diésel oíl derivado del petróleo.

El país actualmente cuenta con refinerías de YPFB que produce diésel oíl, estas son cuatro las más importantes: Gualberto Villarroel, Guillermo Elder Bell, Oro Negro y Parapetí.

Tabla I- 6: Volumen total de refinación Diésel oíl; por refinerías (En kbbl)

REFINERIA	GESTIÓN		
	2021	2022	2023
GUALBERTO VILLARROEL	1.983,58	1.477,97	1.148,25
GUILLERMO ELDER BELL	1.649,46	1.309,64	876,02
ORO NEGRO	227,11	130,00	118,90
TOTAL, PRODUCCIÓN ANUAL	3.860,55	2.917,61	2.143,17

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). (2021-2023). *Anuario Estadístico*. https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Documentos/Documentos_Id-876-210519-0848-0.pdf.

La producción interna sólo abastece alrededor del 60 % de la demanda total interna, el déficit del combustible debe ser importado de países y empresas exteriores.

Tabla I- 7: Empresas proveedores de importación de diésel

PROVEEDOR	PAÍS DE ORIGEN
PDVSA SUR	<i>Venezuela</i>
PDVSA OCCIDENTE -ILO	<i>Venezuela</i>
PDVSA OCCIDENTE -ARICA	<i>Venezuela</i>
TRAFIGURA ORIENTE	<i>África</i>
TRAFIGURA SUR	<i>América</i>
PETROBRAS	<i>Brasil</i>
COPEC	<i>Chile</i>
VITOL SUR	<i>Europa-Suiza</i>
ENARSA	<i>Argentina</i>
REFINOR	<i>Salta-Argentina</i>
YPF- LA PLATA	<i>La Plata-Argentina</i>
REPSOL PERU	<i>Madrid</i>

Fuente: Gerencia Nacional de Comercialización - Dirección Nacional de Hidrocarburos Líquidos. (2021). Obtenido de Informes Estadísticos de YPFB, <https://www.aduana.gob.bo/archivos/circular0442001.pdf>

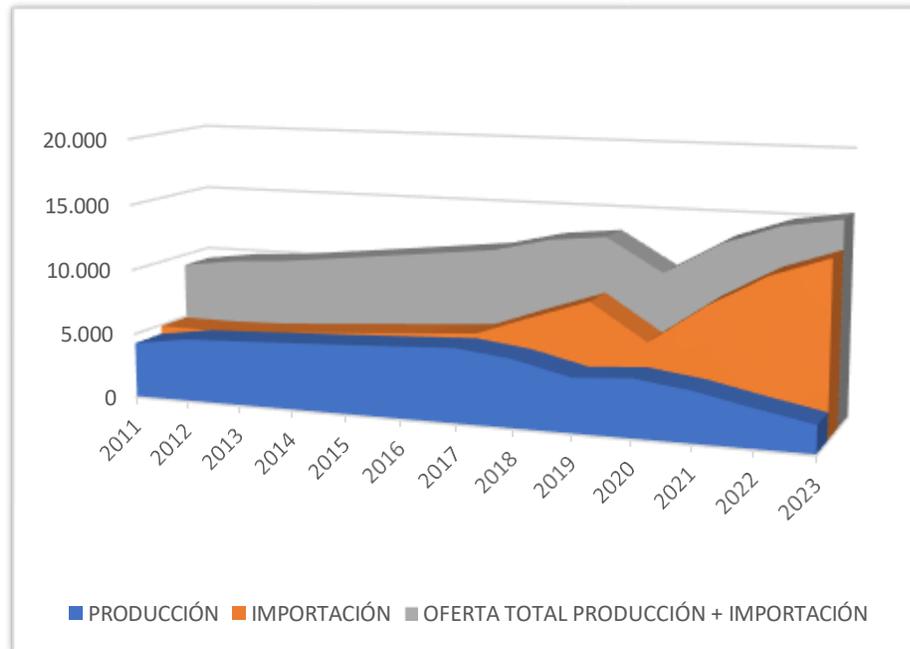
La oferta nacional total de diésel oíl consta del producido en refinerías más lo importado por empresas del exterior.

Tabla I- 8: Oferta nacional total de diésel oíl (Kbbl)

AÑOS	PRODUCCIÓN	IMPORTACIÓN	OFERTA TOTAL: PRODUCCIÓN + IMPORTACIÓN
2011	4.277,00	4.893,00	9.170,00
2012	4.866,00	4.848,00	9.714,00
2013	5.014,00	4.951,00	9.965,00
2014	5.179,00	5.226,00	10.405,00
2015	5.349,00	5.500,00	10.849,00
2016	5.525,00	5.775,00	11.300,00
2017	5.706,00	6.050,00	11.756,00
2018	5.174,56	7.572,00	12.746,56
2019	4.161,94	9.013,35	13.175,29
2020	4.453,92	6.272,67	10.726,59
2021	3.884,72	9.284,92	13.169,64
2022	2.976,51	11.657,18	14.633,69
2023	2.156,76	13.135,30	15.292,06

Fuente: Ministerio de Hidrocarburos y Energías. (2022, octubre). *Balance Energético Nacional 2006-2021*. <https://www.mhe.gob.bo/balance-energetico-nacional-2006-2021/>

Figura 1- 5: Oferta nacional total de diésel oíl (KBBL)



Fuente: Ministerio de Hidrocarburos y Energías. (2022, octubre). *Balance Energético Nacional 2006-2021*. <https://www.mhe.gob.bo/balance-energetico-nacional-2006-2021/>

1.4.1.4. Oferta de diésel oíl por departamentos.

En la siguiente tabla se muestra la oferta total de diésel oíl por departamentos, es decir, los volúmenes de producción más la importación de diésel de petróleo, y que además debe asumirse como demanda porque son volúmenes consumidos de diésel por los departamentos, entonces la oferta total (producción + importación) cubren en su totalidad la demanda del combustible.

**Tabla I- 9: Volumen (en miles de barriles/año) y porcentaje de oferta global
(Producción + importación) de diésel oíl por departamentos**

Depto.	2018	%	2019	%	2020	%	2021	%	2022	%	2023	%
La Paz	2.422	19%	2.372	18%	1.931	18%	2.371	18%	2.634	18%	2.753	18%
Santa Cruz	4.844	38%	5.138	39%	4.183	39%	5.136	39%	5.707	39%	5.964	39%
Cochabamba	2.167	17%	2.240	17%	1.716	16%	2.107	16%	2.341	16%	2.447	16%
Oruro	765	6%	791	6%	751	7%	922	7%	1.024	7%	1.070	7%
Potosí	765	6%	791	6%	644	6%	790	6%	878	6%	918	6%
Sucre	510	4%	527	4%	429	4%	527	4%	585	4%	612	4%
Tarija	765	6%	791	6%	644	6%	790	6%	878	6%	918	6%
Beni	382	3%	395	3%	322	3%	395	3%	439	3%	459	3%
Pando	127	1%	132	1%	107	1%	132	1%	146	1%	153	1%
Total, Oferta	12.747	100	13.175	100	10.727	100	13.170	100	14.634	100	15.292	100

Fuente: Elaborado a partir de datos recolectados de: Ministerio de Hidrocarburos y Energías. (2022, octubre). *Balance Energético Nacional 2006-2021*. y Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). (2019-2021). *Anuario Estadístico*.

En la siguiente tabla se observa los volúmenes de diésel importado ofertado por departamentos:

Tabla I- 10: Volumen de importación (en miles de barriles) y porcentaje de importación de diésel oíl por departamentos

Depto.	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Promedio %
La Paz	1.362	1.622	1.129	1.671	2.098	2.364	18%
Santa Cruz	2.953	3.515	2.446	3.621	4.546	5.123	39%
Cochabamba	1.287	1.532	1.066	1.578	1.982	2.233	17%
Chuquisaca	302	361	251	371	466	525	4%
Tarija	454	541	376	557	699	788	6%
Oruro	454	541	376	557	699	788	6%
Potosí	454	541	376	557	699	788	6%
Beni	227	270	188	279	350	394	3%
Pando	75	90	63	93	117	131	1%
Total, Importación	7.572	9.013	6.273	9.285	11.657	13.135	100%

Fuente: Elaboración propia. (2021)

Con los datos de las anteriores tablas I-9 y I-10, obtenemos los datos de producción de diésel del departamento de Tarija.

Tabla I- 11: Producción de diésel oíl en Tarija (kbb)

Año	Oferta Global	Importación	Producción
2018	765	454	310
2019	791	541	250
2020	644	376	267
2021	790	557	233
2022	878	699	179
2023	918	788	129

Fuente: Elaboración propia, 2024

1.4.2 Estudio de la Demanda.

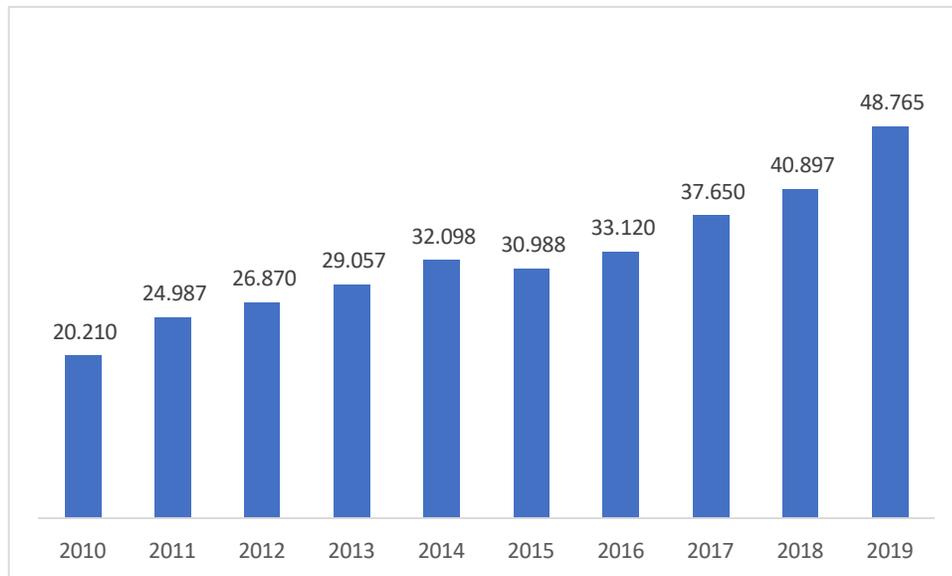
1.4.2.1 Consumo de Biodiesel en la Unión Europea

El incremento del consumo de biocombustibles en Europa ha sido espectacular desde el año 2010, ya que ha pasado de 672.000 toneladas a 12,09 millones de toneladas en el año 2019, lo que significa que se ha multiplicado por 18 en este periodo.

Sin embargo, este crecimiento es insuficiente para atender los objetivos indicados por la Unión Europea. En 2019, el biocombustible consumido representa tan sólo el 4% del consumo total de carburantes.

Biocombustibles se refiere a combustibles como diésel, etanol y otros obtenidos a partir de materia prima vegetal, ya sean semillas o en este caso aceites de frituras.

**Figura 1- 6: Consumo de Biodiesel utilizado en transporte en la Unión europea
(En miles de m³)**

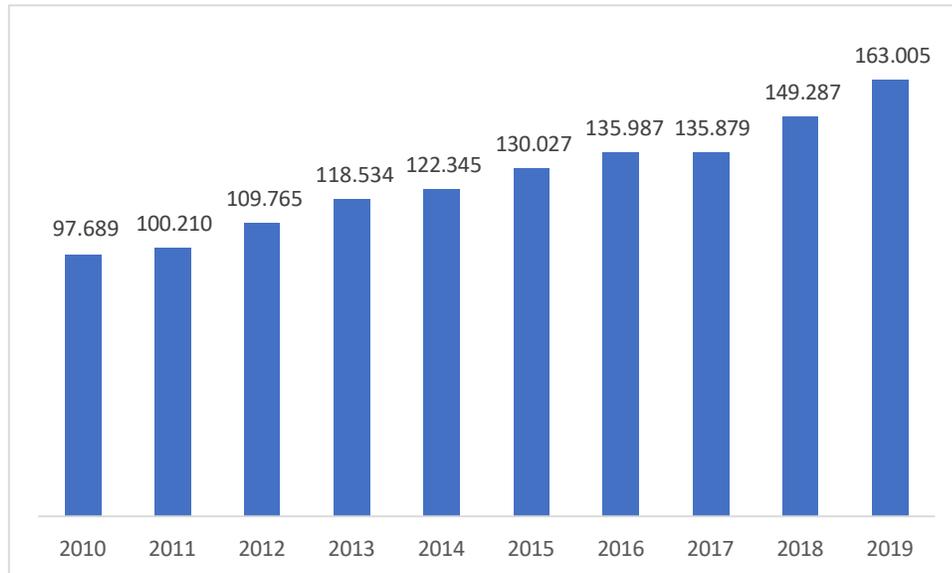


Fuente: Torroba, A., & Productivo, D. (2020). *Atlas de los biocombustibles líquidos 2019-2020*. pag.16

Por su parte, el consumo de biodiésel en el mundo mostró un crecimiento acumulado del 129 % en la última década (2010-2019). Con una tasa de variación interanual que osciló entre el -6 % y el 19 %, el consumo presentó una clara tendencia creciente, superando los 48 millones de metros cúbicos el último año.

El consumo de biodiésel tiene un grado de participación relativamente descentrado, en comparación con el bioetanol. Estados Unidos, Indonesia, Brasil, Francia y Alemania tienen una participación del 14 %, 13 %, 12 %, 8 % y 5 % sobre el total mundial, respectivamente. El 48 % restante se distribuye en los demás países del mundo, con una participación importante de: España, Suecia, Tailandia, Reino Unido, Italia y Argentina.

Figura 1- 7: Consumo de Biocombustibles de la UE. (En miles de m³)

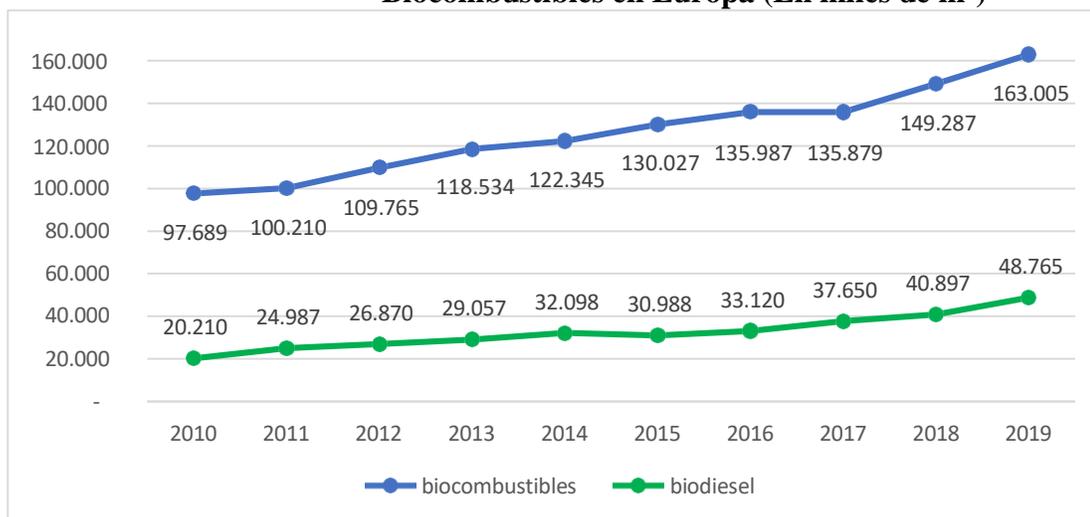


Fuente: Torroba, A., & Productivo, D. (2020). Atlas de los biocombustibles líquidos 2019-2020. pag.14

El consumo de biocombustibles líquidos en el mundo tuvo un crecimiento acumulado del 67 % en la última década (2010-2019). Con una tasa de variación interanual que osciló entre el 1 % y el 13 %, el consumo mostró una clara tendencia creciente, superando los 163 millones de metros cúbicos en el último año.

El consumo de biocombustibles líquidos está fuertemente concentrado en dos países: Estados Unidos (38 % del total) y Brasil (23 % del total). Les siguen Indonesia (4 %), China (3 %) y Francia (3 %). El 29 % restante se distribuye en los demás países del mundo, con una participación importante de: Alemania, Canadá, Tailandia, Reino Unido, España, India, Argentina y Suecia.

Figura 1- 8: Comparativa consumo de Biodiésel y Biocombustibles en Europa (En miles de m³)



Fuente: Elaborada con base en EIA (2020), EUROSTAT (2020), USDA (2020a, varios números). Torroba, A., & Productivo, D. (2020). Atlas de los biocombustibles líquidos 2019-2020.

1.4.2.2 Demanda Nacional de diésel oíl

Con base en el Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT), el Instituto Nacional de Estadística (INE) reportó que a 2020, el parque automotor en Bolivia alcanzó a 2.109.117 vehículos, cantidad superior en 5,2% a la registrada en 2019, cuando llegó a 2.013.400 unidades.

La gasolina fue el combustible más utilizado por el parque automotor en Bolivia, puesto que 83,7% de los vehículos que circulan en el país, utilizaron este combustible; le sigue el diésel cuya participación fue de 12,9% y, finalmente, el gas natural vehicular con 3,4%.

El mayor consumidor de diésel oíl es el sector de transporte. El parque automotor nacional registrado es de 2.109.117 vehículos en todo el país según reportes del Instituto Nacional de Estadística (INE) en el 2020; de los cuales 284.731 vehículos usan como combustible el diésel; es decir que el parque automotor a diésel representa el 12,9 % del parque automotor total.

Tabla I- 12: Parque automotor por departamentos

	Años			
	2021		2022	
Departamento	N° de Vehículo	%	N° de Vehículo	%
CHUQUISACA	84.613	3,80%	92.269	3,70%
LA PAZ	516.586	23,20%	553.613	22,20%
COCHABAMBA	478.732	21,50%	523.688	21,00%
ORURO	111.333	5,00%	122.194	4,90%
POTOSI	75.707	3,40%	82.294	3,30%
TARIJA	124.693	5,60%	137.156	5,50%
SANTA CRUZ	774.878	34,80%	872.814	35,00%
BENI	51.213	2,30%	57.356	2,30%
PANDO	6.680	0,30%	52.369	2,10%
TOTAL	2.226.662	100%	2.493.753	100%

Fuente: Instituto Nacional de Estadística; INE. (2020), *Boletín Estadístico del Parque Automotor (2020)*. <https://siip.produccion.gob.bo/noticias/files/2021-820f7-3automot.pdf>.

El departamento de Tarija representa un casi 6 % del parque automotor a diésel nacional. El consumo de diésel oíl varía de acuerdo al tamaño del parque automotor a diésel del país y sus departamentos.

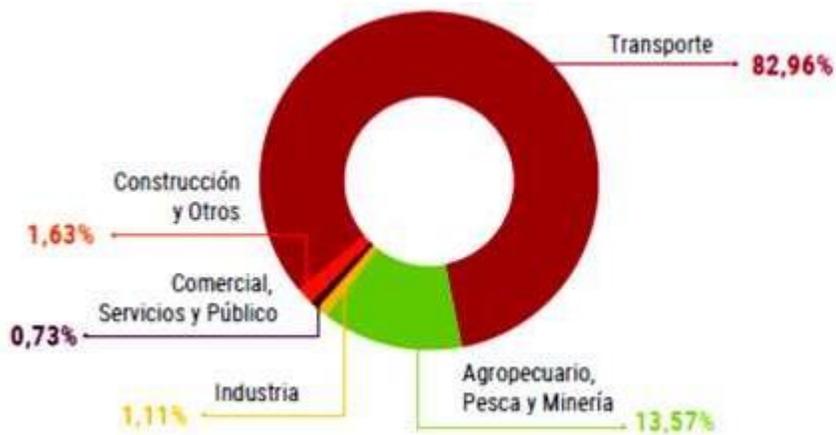
Tabla I- 13: Sectores de consumo de diésel oíl Por Departamento 2022 (Kbbl)

Sectores de Consumo	LA PAZ	SANTA CRUZ	COCHABAM-BA	CHUQUISA-CA	TARIJA	ORURO	POTOSI	BENI	PANDO	BOLIVIA
Transporte	2747,76	4539,78	1911,49	358,40	477,87	597,34	716,81	477,87	119,47	11946,79
Industria	36,73	60,68	25,55	4,79	6,39	7,98	9,58	6,39	1,60	159,68
Agropecuaria, Pesca y Minería	449,34	742	312,59	58,61	78,15	97,68	117,22	78,15	19,54	1.953,66
Comercial, servicios y Publico	24,14	39,88	16,79	3,15	4,20	5,25	6,30	4,20	1,05	104,94
Construcción y Otros	54,01	89,24	37,58	7,05	9,39	11,74	14,09	9,39	2,35	234,85
Consumo Final Energético	3.312,0	5.472,0	2.304,0	432,0	576,0	720,0	864,0	576,0	144,0	14.399,9

Fuente: Elaborado a partir de datos recolectados de: Ministerio de Hidrocarburos y Energías. (2022, octubre). *Balance Energético Nacional 2018-2022*.

El diésel en diferentes departamentos se usa mayormente en el transporte, pero también es utilizado en otros sectores.

Figura 1- 9: Sectores de consumo del energético diésel en BOLIVIA



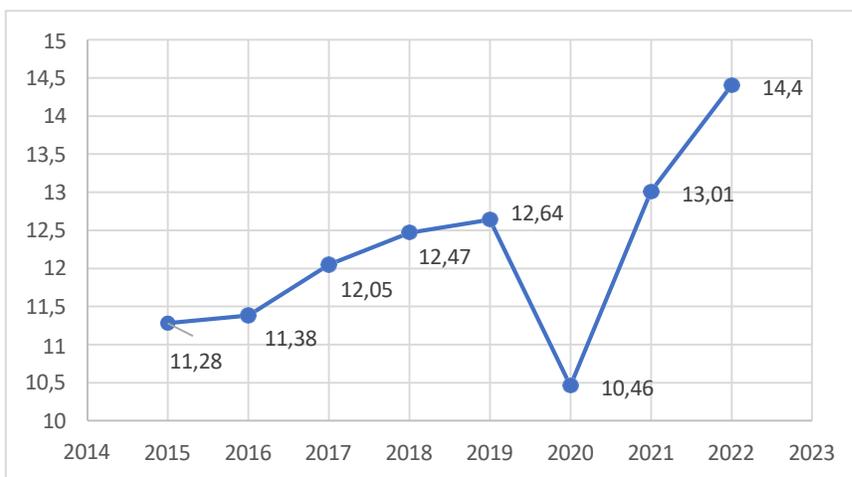
Fuente: Ministerio de Hidrocarburos y Energías. (2022, octubre). *Balance Energético Nacional 2018-2022*.

Tabla I- 14: Demanda total nacional de diésel oíl

Años	Demanda de diésel oíl (MMbbl)
2015	11,28
2016	11,38
2017	12,05
2018	12,47
2019	12,64
2020	10,46
2021	13,01
2022	14,40

Fuente: Instituto Nacional de Estadística INE (2024). Cuadro estadístico mensuales: “*Bolivia – Volumen Comercializado de Refinados al Mercado Interno por Producto según Año y Mes 1990 – 2024*”. <https://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticas-economicas/hidrocarburos-mineria/hidrocarburo-cuadros-estadisticos/>

Figura 1- 10: Demanda total nacional de diésel oíl (en millones de barriles)



Fuente: Instituto Nacional de Estadística INE (2024). Cuadro estadístico mensuales: “*Bolivia – Volumen Comercializado de Refinados al Mercado Interno por Producto según Año y Mes 1990 – 2024*”. <https://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticas-economicas/hidrocarburos-mineria/hidrocarburo-cuadros-estadisticos/>

Según las cifras oficiales (INE) actual la comercialización de diésel oíl va aumentando o manteniendo, pero el año 2020 se nota un desfase una disminución abrupta esto debido a la emergencia sanitaria que hubo en este año. Pero es notorio que el consumo está en crecimiento continuo.

1.5. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DEL MERCADO Y POLÍTICAS DE COMERCIALIZACIÓN

El mercado del biodiesel considerado por este estudio se ubica en el departamento de Tarija con sus provincias. Este estudio considera cubrir los porcentajes de incorporación al diésel de petróleo para disminuir la importación de la ciudad de Tarija.

Se desea cubrir primeramente los principales lugares de Tarija sus provincias y capitales, donde existan surtidores legales que distribuyen diésel oíl para añadir su respectiva incorporación porcentual con el biodiesel obtenido de aceites usados de la misma región.

En la tabla 1-15 se detallan las provincias y capitales de provincia del departamento de Tarija.

Tabla I- 15: Provincias y capitales de provincia de Tarija

Nº	Provincia	Sección	Capital	Nº de Cantones
1	Cercado	Única	Sella Cercado	18
2	Aniceto Arce	Primera	Padcaya	18
		Segunda	Bermejo	5
3	Gran Chaco	Primera	Yacuiba	11
		Segunda	Caraparí	3
		Tercera	Villa Montes	5
4	Avilés	Primera	Uriondo	8
		Segunda	Yunchará	12
5	Méndez	Primera	San Lorenzo	19
		Segunda	El puente	9
6	O'Connor	Única	Entre Ríos	24

Fuente: Educación, G. (2007). Atlas de Bolivia y universal. In *Atlas de Bolivia y universal*

Figura 1- 11: Mapa político de Tarija



Fuente: Educación, G. (2007). Atlas de Bolivia y universal. In *Atlas de Bolivia y universal*.

1.7.5 Mercado consumidor

El mercado consumidor para el biodiesel es el parque automotor del país más específicamente de la ciudad de Tarija.

En Bolivia, 92,7% del parque automotor está registrado como Servicio Particular, el Servicio Público es el segundo en importancia con una participación de 5,6%, en tanto que el Servicio Oficial alcanzó a 1,7%.

Hasta 2020, el número de vehículos registrados como Servicio Particular se incrementó a 87.640 unidades, 4,7% con relación a 2019; asimismo, los de Servicio Público presentaron variación positiva de 5,6% que equivale a 7.447 vehículos adicionales y los de Servicio Oficial 1,7%, igual a 630 vehículos más, respecto al año 2019.

Según clase de vehículos, las motocicletas constituyeron el grupo más importante del parque automotor, que hasta el 2020 registraron 591.816 unidades; le siguen en orden de importancia, 561.963 vagonetas y 201.910 camionetas.

Tabla I- 16: Parque automotor por clase de vehículo y tipo de servicio (2019-2020)

AÑO	2021		2022	
	Numero de Vehículo	Participación Porcentual	Numero de Vehículo	Participación Porcentual
Motocicleta	657.718	29,5	787.078	31,6
Vagoneta	583.063	26,2	620.607	24,9
Automovil	362.220	16,3	406.069	16,3
Camioneta	210.188	9,4	231.160	9,3
Camión	137.540	6,2	154.871	6,2
Minibus	127.195	5,7	132.224	5,3
Jeep	64.460	2,9	71.373	2,9
Tracto-camion	28.952	1,3	30.648	1,2
Microbus	19.479	0,9	20.281	0,8
Furgon	16.056	0,7	16.612	0,7
Bus	12.520	0,6	15.312	0,6
Quadra Track	5.802	0,3	6.059	0,2
Ambulancia	1.167	0,1	1.132	0,0
Maquinaria pesada	171	0,0	196	0,0
Torpedo	93	0,0	90	0,0
Trimovil-camion	38	0,0	41	0,0
TOTAL, VEHICULOS	2.226.662		2.493.753	
<i>Particular</i>	2.068.569	92,80%	2.296.747	92,70%
<i>Publico</i>	122.466	5,50%	154.613	5,60%
<i>Oficial</i>	35.627	1,70%	42.394	1,70%

Fuente: Instituto Nacional de Estadística; INE. (2020), *Boletín Estadístico del Parque Automotor (2020)*. <https://siip.produccion.gob.bo/noticias/files/2021-820f7-3automot.pdf>.

Con base en el Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT), el Instituto Nacional de Estadística (INE) reporta que a 2020 el parque automotor en Bolivia alcanzó a 2.109.117 vehículos, cantidad superior en 4,8% a la registrada en 2019, cuando llegó a 2.013.400 unidades.

Tabla I- 17: Parque automotor total nacional

ITEM	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL	1.574.552	1.711.005	1.800.354	1.910.127	2.013.400	2.109.117	2.226.662	2.493.753

Fuente: Instituto Nacional de Estadística; INE. (2020), *Boletín Estadístico del Parque Automotor (2020)*. <https://siip.produccion.gob.bo/noticias/files/2021-820f7-3automot.pdf>.

Tabla I- 18: Parque automotor por departamentos

	Años			
	2021		2022	
Departamento	N° de Vehículo	%	N° de Vehículo	%
CHUQUISACA	84.613	3,80%	92.269	3,70%
LA PAZ	516.586	23,20%	553.613	22,20%
COCHABAMBA	478.732	21,50%	523.688	21,00%
ORURO	111.333	5,00%	122.194	4,90%
POTOSI	75.707	3,40%	82.294	3,30%
TARIJA	124.693	5,60%	137.156	5,50%
SANTA CRUZ	774.878	34,80%	872.814	35,00%
BENI	51.213	2,30%	57.356	2,30%
PANDO	6.680	0,30%	52.369	2,10%
TOTAL	2.226.662	100%	2.493.753	100%

Fuente: Instituto Nacional de Estadística; INE. (2023,abril), *Boletín Estadístico del Parque Automotor (2023)*. <https://siip.produccion.gob.bo/noticias/files/2021-820f7-3automot.pdf>.

La obligatoriedad de comercializar biodiesel como una aditivo del diésel de petróleo imposibilita la venta directa del producto al consumidor final, que utilizara el mismo en las proporciones que la ley dispone (ver anexo A Ley N° 3207, 30 de septiembre de 2005) como fuente de energía para automoción, por este motivo el presente estudio considera como consumidor a las estaciones de servicio de combustibles líquidos comúnmente llamados surtidores, ubicadas dentro del departamento de Tarija en las localidades más representativas de cada provincia y que además estén legalmente establecidas contando con la licencia que la superintendencia de Hidrocarburos otorga.

Tabla I- 19: Estaciones de servicio de combustibles líquidos por provincia de la ciudad de Tarija

Provincia	Cantidad	Detalle		
Cercado	9	Tarija:	Nombre de la estación de servicio	Dirección
			Automóvil Club Boliviano	C. Ingavi Edificio A & P
			Escovazam	C. Camargo Entre 27 De Mayo Y Circunvalación
			Don Daniel	Av. Circunvalación Casi Rotonda El Petrolero
			El Portillo	C. Daniel Campos Esq. Ingavi # 705
			La Floresta	Av. Panamericana # 904
			San Jorge	Av. Panamericana, Carr. A Bermejo
			Tarija Srl.	Av. Héroes De La Independencia
			Circunvalación Srl.	Av. Circunvalación S/N Barrio La Florida
			La Cabaña	Av. Ingavi # 114 Esq. Membrillos
Gran Chaco	7	Yacuiba:	Carretera Nueve Srl.	Carr. A Santa Cruz, Km. 2 ½ De San Isidro
			Copacabana	Av. San Gerónimo
			El Lapachal	Av. Los Libertadores Esq. Independencia
			El Tero Tero	Carr. A Santa Cruz Km 4
			M. WarriorSrl.	Carr. A Santa Cruz Km. 10
			Amancayas Srl.	C. Martin Barroso
			Imaybe Ltda.	Km. 1 Carr. Yacuiba Santa Cruz
	2	Villamontes:	El Chañar	Carr. A Santa Cruz Km 1
			El Chaqueño	Av. Héroes Del Chaco # 590
Aniceto Arce	2	Bermejo:	El Chorro	C. Topater
			Rio Bermejo	Av. Bolívar Esq. Manuel Belgrano
O' Connor	1	Entre Ríos:	Moravek	Av. Eberto Lema # 936
Méndez	2	El Rancho:	El Molle	Rancho
		Camargo:	CintiSrl	Z. Capilla NorCinti, Camargo

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH, (2024), *COMERCIALIZACION DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS EN ESTACION DE SERVICIO EN TARIJA*, <https://www.anh.gob.bo/w2019/contenido.php?s=40&R=1&D=6>

El biodiesel será comercializado en todas las estaciones de servicio de combustibles líquidos de Tarija, que cuenten con licencia y el producto llegará a las mismas mediante en siguiente canal de distribución:



Donde los intermediarios son transportistas afiliados a cooperativas, que llevarán el producto en cisternas de mayor capacidad desde la planta hasta los distintos surtidores.

1.7.6 Mercado competidor

El mercado de los combustibles, está compuesto por los siguientes productos: alcohol, diésel, gas natural, gasolina y otros que son derivados del petróleo. Pero el principal competidor es el diésel o gasoil. La producción a nivel Nacional se distribuye de la siguiente manera:

Tabla I- 20: Bolivia, participación de combustible 2019 – 2020

USO DE COMBUSTIBLE	2021		2022	
	Número de Vehículos	Participación Porcentual	Número de Vehículos	Participación Porcentual
Total	2.226.662	100	2.493.753	100
Alcohol	62,35	0,00%	62,34	0,00%
Diesel	300.599,37	13,50%	321.694,14	12,9%
Gas Natural	80.159,83	3,60%	84.787,60	3,4%
Gasolina	1.845.902,80	82,90%	2.087.271,26	83,7%
Eléctrico	48,99	0,00%	64,84	0,00%
Sin Especificar ⁽¹⁾	24,49	0,00%	24,94	0,00%

Fuente: Instituto Nacional de Estadística; INE. (2020), *Boletín Estadístico del Parque Automotor (2020)*. <https://siip.produccion.gob.bo/noticias/files/2021-820f7-3automot.pdf>

⁽¹⁾ Corresponde a aquellos vehículos que en el momento de registro no declararon el tipo de combustible que utilizan.

En particular, analizaremos el mercado del producto diésel (19.34% y 18.93% de la producción total de combustibles a nivel nacional), debido a un tema tecnológico es el principal producto que no solo plantea la posibilidad de una mezcla con el biodiesel, sino que también representa un sustituto en forma directa.

El sustituto directo del biodiesel es el gasoil, dado que el parque automotor que tiene motores diésel puede utilizar indistintamente uno, otro o la mezcla de ambos, siendo esta última opción, la más utilizada en años venideros.

1.6. ANÁLISIS DE PRECIOS: MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS.

Tomando en cuenta el siguiente análisis se llegó a la conclusión de poner un precio que cubra con los gastos de producción, un valor que nos ayudara a obtener un análisis económico óptimo.

En la siguiente tabla se muestra un listado de empresas importadoras y distribuidoras de productos químicos, establecidas en Bolivia.

Tabla I- 21: Empresas importadoras y distribuidoras de productos químicos

EMPRESAS	UBICACIÓN
ABENDROTH	La Paz/ Santa Cruz/ Cochabamba
BRENTAG BOLIVIA SRL	La Paz/ Santa Cruz/ Cochabamba
COMPROQUIM	La Paz
CUSA BOLIVIA	La Paz
IMPORTACIONES IMGE	La Paz
INQUIDOR SRL	La Paz/ El Alto
METALTECH SRL	La Paz
CORIMEX LTDA	La Paz
ABIMAR	El Alto
DISTRIBUIDORA SAMCO	Santa Cruz
QUIMICA HOLANDA BOLIVIA S.A.	Santa Cruz
QUIMICAL	Santa Cruz
ASMARA	Santa Cruz
COMPAÑÍA QUIMICA DEL ESTE SRL	Santa Cruz
DIALQUIM	Santa Cruz
FADECORP	Santa Cruz
DISTRIBUIDORA DPQ	Santa Cruz
IMPORTADORA BOART SRL	Santa Cruz
ALPHA QUIM	Cochabamba
AMERICAN CHEMICAL COMPANY	Cochabamba
DISTRIBUIDORA SUR	Tarija

Fuente: Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria E Inocuidad Alimentaria Unidad Nacional de Sanidad Vegetal (SENASAG). (2021,10 de junio). *Estado de las empresas importadoras de productos agroquímicos.*
<https://www.senasag.gob.bo/egp/empresassv.html>.

Las siguientes tablas muestran los precios de materias primas e insumos involucrados en el proceso, así como también los precios de productos y subproductos que servirán de referencia para estimar posteriormente costos de producción y venta.

Como no se cuenta con un antecedente de producción industrial de biodiesel en el país se tomará en cuenta el precio del diésel de petróleo como un referente.

Tabla I- 22: Precio de materias primas e insumos

Insumos y materia prima	Precios
Aceite vegetal usado	(*) 1,90 bs/l
Metanol puro	122 bs/l
Alcohol etílico absoluto puro	325 bs/l
Hidróxido de sodio p.a. (perlas)	300 bs/10 kg

Fuente: Cotización por la empresa QUIMICAL, representantes de la empresa Argentina BIOPACK (2024)

(*) Es el precio promedio de las encuestas de recogida de datos (ver Tabla I-5).

Tabla I- 23: Precio de productos y subproductos

Productos y Subproductos	Precio
Diésel oíl nacional subvencionado	(*) 3,72 bs/l
Diésel oíl internacional	(*) 8,88 bs. /l
Glicerina industrial	42 bs/l

Fuente: (*) Agencia Nacional de Hidrocarburos, ANH; y cotización empresa QUIMICAL (2020).

El país importa casi el 40 % de diésel oíl de países extranjeros, esto afecta la situación económica del país. Los precios de importación son altos porque se debe considerar los gastos de transporte a las condiciones adecuadas para el envío de diésel oíl hasta los diferentes puntos de reparto de este combustible.

Los precios de importación de los diferentes combustibles, que se señalan a continuación, varían en función al precio internacional del petróleo, punto de entrega, tipo de producto, medio de transporte y costo de flete.

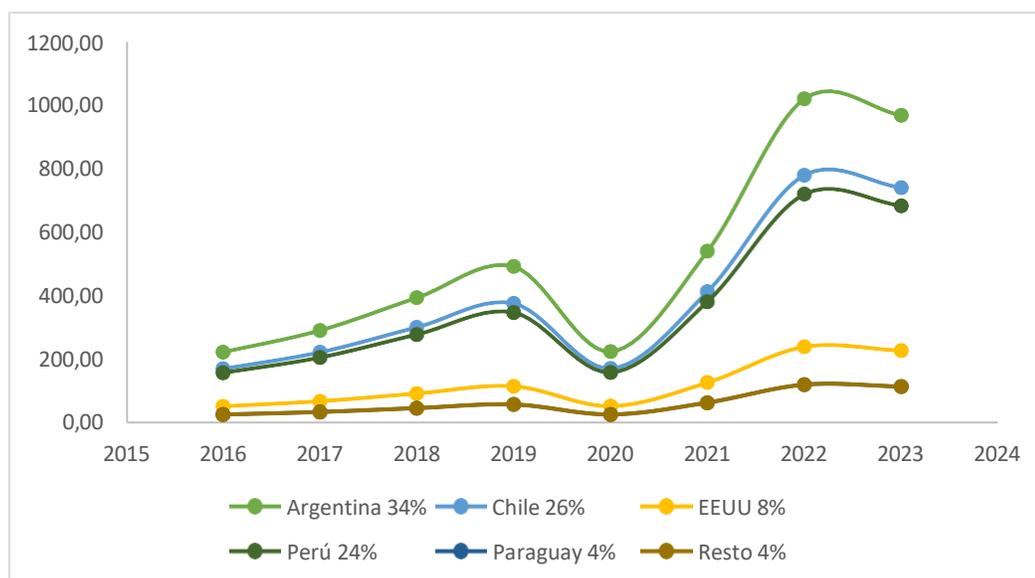
Tabla I- 24: Precios promedio de importación de diésel oíl

Año	%	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Valor (MUSD)		655	856	1.158,00	1.447,00	660	1.589,00	2.999,00	2.848,00
Argentina	34%	222,70	291,04	393,72	491,98	224,40	540,26	1019,66	968,32
Chile	26%	170,30	222,56	301,08	376,22	171,60	413,14	779,74	740,48
EEUU	8%	52,40	68,48	92,64	115,76	52,80	127,12	239,92	227,84
Perú	24%	157,20	205,44	277,92	347,28	158,40	381,36	719,76	683,52
Paraguay	4%	26,20	34,24	46,32	57,88	26,40	63,56	119,96	113,92
Resto	4%	26,20	34,24	46,32	57,88	26,40	63,56	119,96	113,92

Fuente: Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE), (2021,9 de febrero), "Bolivia: Importaciones de Combustibles". <https://ibce.org.bo/publicaciones-ibcecifras-pdf.php?id=898>.

*El precio en unidad, de millones de USD del total de TN de combustible comprado)

Figura 1- 12: Precios promedio de importación de diésel oíl por país



Fuente: Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE), (2024, agosto), "Bolivia: Importaciones de Combustibles". <https://ibce.org.bo/publicaciones-ibcecifras-pdf.php?id=898>.

1.7.PROYECCIONES

1.7.1 Proyección de la oferta nacional

La proyección de la oferta del producto está dada por el análisis de la oferta de diésel oíl nacional; es lo producido en las refinerías más la importación de diésel.

Se analizará la proyección de la producción y de la importación de diésel en el país, esto en base a los datos de boletines estadísticos de YPFB desde el 2006 al 2023. Y finalmente se proyectará la oferta total.

El método de proyección que se usara es de regresión lineal, en el que hace uso de las siguientes formulas:

$$b = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$r = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n(\sum X^2) - (\sum X)^2] * [n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}}$$

$$Y = a + bX$$

Donde:

Y= Valor calculado de la variable dependiente (cantidad)

X= Valor de la variable independiente (tiempo)

a= Constante

b= Coeficiente de X

Teniendo la oferta nacional de producción e importación (ver tabla I-8), se elabora la siguiente tabla para reemplazar los datos en las fórmulas.

Para la producción de diésel nacional:

Tabla I- 25: Datos para proyección de la producción nacional de diésel (kbbl)

X= Años	Y= Producción	XY	X²	Y²
2011	4.277,00	8.142.477,000	4.036.081,000	16.426.809,000
2012	4.866,00	8.116.380,000	4.040.100,000	16.305.444,000
2013	5.014,00	8.601.047,000	4.044.121,000	18.292.729,000
2014	5.179,00	9.790.392,000	4.048.144,000	23.677.956,000
2015	5.349,00	10.093.182,000	4.052.169,000	25.140.196,000
2016	5.525,00	10.430.506,000	4.056.196,000	26.822.041,000
2017	5.706,00	10.778.235,000	4.060.225,000	28.611.801,000
2018	5.174,56	11.138.400,000	4.064.256,000	30.525.625,000
2019	4.161,94	11.509.002,000	4.068.289,000	32.558.436,000
2020	4.453,92	11.894.092,000	4.072.324,000	34.739.236,000
2021	3.884,72	12.289.653,000	4.076.361,000	37.051.569,000
2022	2.976,51	12.699.740,000	4.080.400,000	39.526.369,000
2023	2.156,76	13.122.353,000	4.084.441,000	42.159.049,000

Fuente: Elaboración propia en base de datos de Tabla I-8. Ministerio de Hidrocarburos y Energías. (2022, octubre). *Balance Energético Nacional 2006-2021*. <https://www.mhe.gob.bo/balance-energetico-nacional-2006-2021/>

$\sum X = 30.210$; $\sum Y = 78.513$; $\sum XY = 158.168.531$; $\sum X^2 = 60.843.220$; $\sum Y^2 = 419.320.253$

Promedio: $X = 2.014$ $Y = 5.234,2$ $n = 15$

Reemplazando los datos de la tabla anterior a las formulas:

$$b = \frac{(15 * 158.168.531) - (30.210 * 78.513)}{(15 * 60.843.220) - (30.210)^2} \rightarrow b = 154,8179$$

$$a = 5.234,2 - (154,8179 * 2.014) \rightarrow a = -306.568,964$$

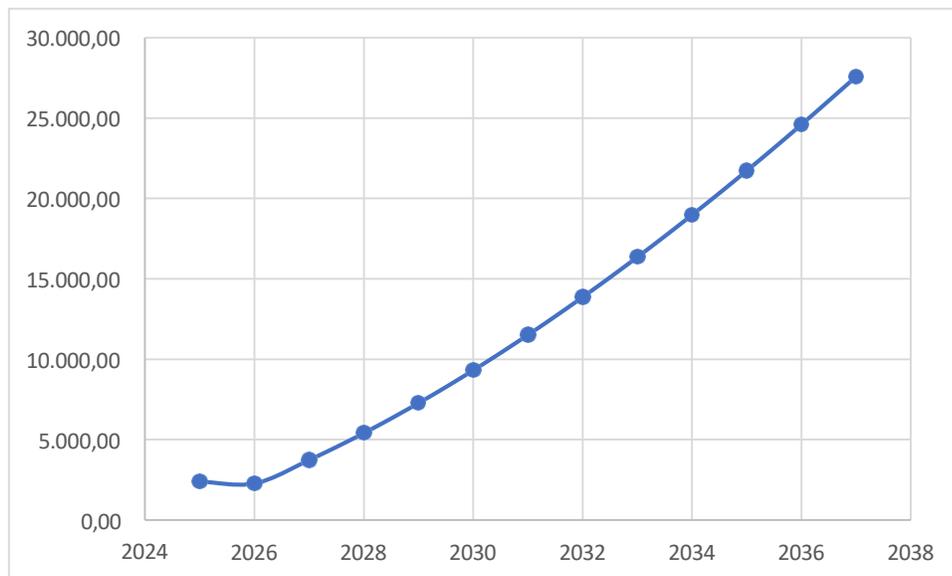
$$Y = a + bX_{(2025)}$$

Tabla I- 26: Proyección: producción de diésel nacional (en kbbl)

X	Y
2025	2.390,78
2026	2.271,90
2027	3.733,12
2028	5.409,30
2029	7.276,60
2030	9.317,49
2031	11.518,46
2032	13.868,70
2033	16.359,35
2034	18.982,91
2035	21.733,00
2036	24.604,05
2037	27.591,19

Fuente: Elaboración propia con datos de la Tabla I-25, 2024

Figura 1- 13: Proyección de producción de diésel nacional (en kbbl)



Fuente: Elaboración propia con datos de la tabla I-26 (2024)

Determinando el coeficiente de correlación con la ecuación (1.4):

$$r = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n(\sum X^2) - (\sum X)^2] * [n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}}$$

$$r = \frac{(15 * 158.168.531) - (30.210 * 78.513)}{\sqrt{[(15 * 60.843.220) - (30.210)^2] * [(15 * 419.320.453) - (78.513)^2]}}$$

$$r = 0,90$$

En este caso se proyecta que la producción de diésel tendrá un crecimiento relativamente constante, el mayor valor será de 8.485 miles de barriles en el año 2035 (8.485.000 bbl al año o el promedio de 23 mil barriles por día).

Se sigue el procedimiento de regresión lineal para calcular la proyección de importación de diésel en el país.

Tabla I- 27: Datos para proyección de importación nacional de diésel (miles de barriles)

X= Años	Y= importación	XY	X²	Y²
2011	4.893,00	6.450.498,000	4.028.049,000	10.329.796,000
2012	4.848,00	5.921.592,000	4.032.064,000	8.696.601,000
2013	4.951,00	8.192.702,000	4.036.081,000	16.630.084,000
2014	5.226,00	8.809.830,000	4.040.100,000	19.210.689,000
2015	5.500,00	9.839.823,000	4.044.121,000	23.941.449,000
2016	5.775,00	9.754.176,000	4.048.144,000	23.503.104,000
2017	6.050,00	9.966.363,000	4.052.169,000	24.512.401,000
2018	7.572,00	10.525.164,000	4.056.196,000	27.311.076,000
2019	9.013,35	11.082.500,000	4.060.225,000	30.250.000,000
2020	6.272,67	11.642.400,000	4.064.256,000	33.350.625,000
2021	9.284,92	12.202.850,000	4.068.289,000	36.602.500,000
2022	11.657,18	12.763.850,000	4.072.324,000	40.005.625,000
2023	13.135,30	13.325.400,000	4.076.361,000	43.560.000,000

Fuente: Elaboración propia con datos de la tabla I-8. (2024)

$$\sum X = 30.210; \sum Y = 78.215; \sum XY = 158.810.757; \sum X^2 = 60.843.220; \sum Y^2 = 436.264.027$$

$$\bar{X} = 2.014 \quad \bar{Y} = 5.254,33$$

$$n = 15$$

$$b = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$b = 276,239;$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$a = -551.091,588;$$

$$r = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n(\sum X^2) - (\sum X)^2] * [n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}}$$

$$r = 0,98$$

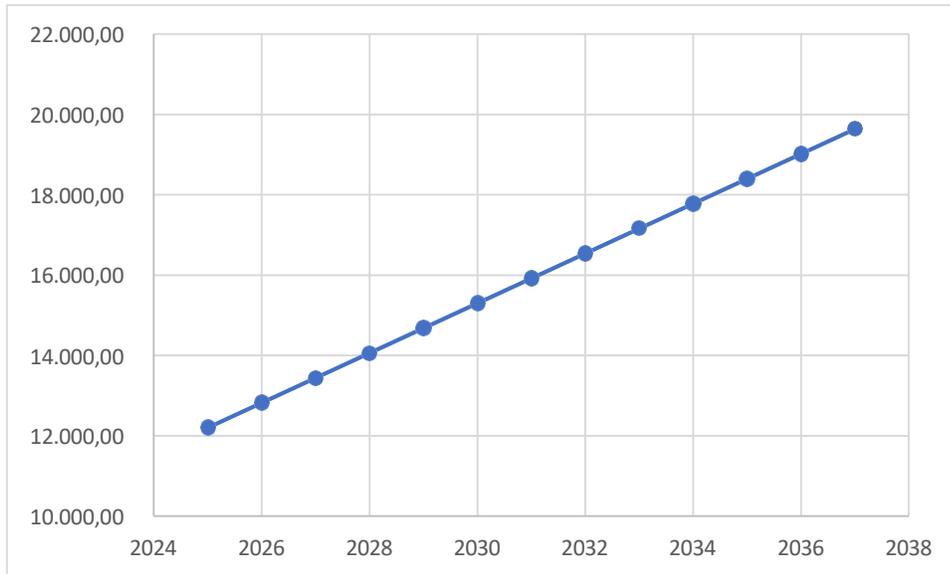
$$Y = a + bX$$

Tabla I- 28: Proyección: importación de diésel nacional (en miles de barriles)

X	Y
2025	12.202,70
2026	12.822,47
2027	13.442,25
2028	14.062,02
2029	14.681,80
2030	15.301,57
2031	15.921,35
2032	16.541,12
2033	17.160,90
2034	17.780,67
2035	18.400,45
2036	19.020,22
2037	19.640,00

Fuente: Elaboración propia con datos de la tabla 1-27. (2024)

Figura 1- 14: Proyección de importación nacional de diésel



Fuente: Elaboración propia. (2024)

Para este caso el coeficiente de correlación es más alto que el coeficiente de correlación para la proyección de la producción, por lo tanto, la correlación lineal de la proyección de la importación es más idónea porque se acerca a la unidad. El mayor valor será de 11.055 miles de barriles de diésel para el 2035, (un aproximado de 30 mil barriles por día en ese año).

Se utiliza el mismo procedimiento para la oferta total, que se define como la producción y la demanda insatisfecha.

Tabla I- 29: Datos de proyección de oferta total de diesel (en kbbl)

X= Años	Y= Oferta Total	XY	X²	Y²
2011	9.170,00	16.335.179	4.036.081	66.113.161
2012	9.714,00	16.926.210	4.040.100	70.913.241
2013	9.965,00	18.440.870	4.044.121	84.088.900
2014	10.405,00	19.544.568	4.048.144	94.361.796
2015	10.849,00	20.059.545	4.052.169	99.301.225
2016	11.300,00	20.955.670	4.056.196	108.264.025
2017	11.756,00	21.860.735	4.060.225	117.700.801
2018	12.746,56	22.780.800	4.064.256	127.690.000
2019	13.175,29	23.711.852	4.068.289	138.203.536
2020	10.726,59	24.657.942	4.072.324	149.303.961
2021	13.169,64	25.615.053	4.076.361	160.959.969
2022	14.633,69	26.585.220	4.080.400	173.211.921
2023	15.292,06	27.570.482	4.084.441	186.104.164

Fuente: Elaboración propia con datos de la tabla 1-8. (2024)

$$\sum X = 30.210; \sum Y = 157.328; \sum XY = 316.979.288; \sum X^2 = 60.843.220$$

$$\sum Y^2 = 1.702.792.740$$

$$\bar{X} = 2.007 \quad \bar{Y} = 10.488,53$$

$$n = 15$$

$$b = 431.057;$$

$$a = -857.660,552;$$

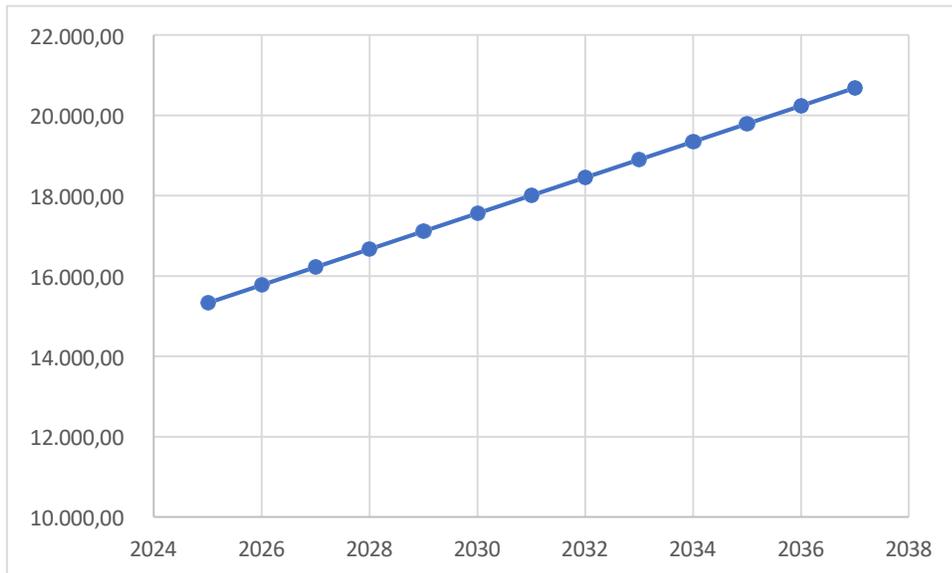
$$r = 0,99$$

Tabla I- 30: Proyección de la oferta nacional total de diésel (en miles de barriles)

X	Y
2025	15.331,57
2026	15.777,80
2027	16.224,02
2028	16.670,25
2029	17.116,48
2030	17.562,70
2031	18.008,93
2032	18.455,16
2033	18.901,39
2034	19.347,61
2035	19.793,84
2036	20.240,07
2035	19.541

Fuente: Elaboración propia. (2024)

Figura 1- 15: Proyección de oferta total de diésel (en miles de barriles)



Fuente: Elaboración propia. (2024).

1.7.2 Proyección de la oferta total en Tarija

1.7.2.1 Proyección de Oferta de aceites usados vegetales.

Con los datos de las encuestas representativas de locales y restaurantes que se realizó, se realiza la siguiente proyección aproximada del crecimiento de la oferta de materia prima disponible en Tarija.

Tomando en cuenta cálculos de estadística se calcula con datos recogidos de las encuestas:

$$\text{Tamaño de la muestra} = \frac{\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2 N} \right)}$$

n= Tamaño de muestra

N= tamaño de la población (1600)

e= margen de error (11%)

z= de tablas según el nivel de confianza que tomamos como 95%(1,96)

p asumimos que es 50 (se desconoce la probabilidad “p” del evento)

Esto es para comprobar que la población según el tamaño de muestra que se realizo es de 1600, es decir que nos referimos a 1600 locales que podemos encontrar dentro de nuestra población. Con este dato se calcula el tamaño de muestra que salió 76.

$$n = \frac{\frac{1,96^2 * 50(1 - 50)}{11^2}}{1 + \left(\frac{1,96^2 * 50(1 - 50)}{1,96^2 * 1600} \right)} = 76$$

Información que sacamos de la página <https://es.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/> donde se realiza el cálculo de tamaño de muestra de nuestras encuestas.

Tabla I- 31: Datos recolectados de la encuesta Restaurantes, snack y casas de la ciudad de Tarija

	1	2
Número de encuestados	77	76
Total consumo de aceite (l/día)	2992	3685
Total aceite usado (l/día)	133,3	189,7
Total, aceite usado para el tamaño de población (1300 y 1600) (l/día)	3291	3993
Promedio del precio de materia prima (bs)	0,50	0,70

Fuente: Elaboración Propia de la Encuesta (ver tabla I-5). (2021)

Entonces con los datos recolectados de la encuesta se calculará el total de aceite usado para el total de locales y restaurantes que se estima anteriormente:

$$\begin{array}{r}
 76 \quad 189,7 \\
 1600 \quad x \quad X=3.993 \text{ l/día}
 \end{array}$$

Así obtenemos el dato real de la cantidad de aceite usado que se puede obtener del total del tamaño locales y restaurantes en nuestro departamento

Tabla I- 32: Datos de proyección de oferta total de aceites usados de Tarija

	X=Años	Y= Total Aceite Usado	XY	X ²	Y ²
	2020	3291	6.647.820,00	4.080.400,00	10.830.681,00
	2021	3993	8.069.853,00	4.084.441,00	15.944.049,00
<i>Suma:</i>	4.041,00	7.284,00	14.717.673,00	8.164.841,00	26.774.730,00
<i>Promedio:</i>	2.020,50	3.642,00			

Fuente: Elaboración Propia (2022).

$$Y = a + bX \quad (1.1)$$

$$b = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (1.2)$$

$$b = 702,00$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (1.3)$$

$$a = -1.414.749$$

$$r = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n(\sum X^2) - (\sum X)^2] * [n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}} \quad (1.4)$$

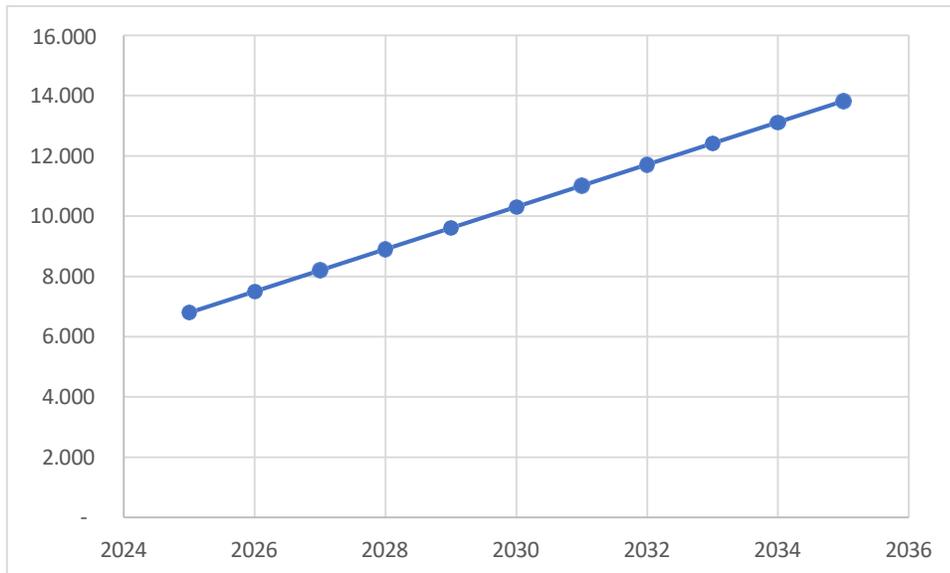
$$r = 1$$

Tabla I- 33: Proyección de la oferta total de aceite usado en Tarija (lt/día)

X= Años de Proyección	Y= Aceite usado Proyectado
2025	6.801
2026	7.503
2027	8.205
2028	8.907
2029	9.609
2030	10.311
2031	11.013
2032	11.715
2033	12.417
2034	13.119
2035	13.821

Fuente: Elaboración Propia 2024.

Figura 1- 16: Proyección de la oferta total de aceite usado en Tarija (lt/día)



Fuente: Elaboración propia (2024).

1.7.2.2 Proyección de Oferta total de diésel oíl de Tarija.

Para realizar la proyección de la oferta total de diésel oíl en el departamento de Tarija se analiza la producción e importación de dicho combustible que llega a consumirse en el departamento.

Se utiliza el mismo método, de mínimos cuadrados o regresión lineal, se utiliza los datos de los 3 últimos años de la tabla I-8 como base de cálculo para la regresión lineal.

Tabla I- 34: Datos de proyección de producción de diésel en Tarija (en miles de barriles)

X= Años	Y= Producción Tarija	XY	X ²	Y ²
2018	310,00	624.650,00	4.060.225,00	96.100,00
2019	250,00	639.072,00	4.064.256,00	100.489,00
2020	267,00	655.525,00	4.068.289,00	105.625,00
2021	233,00	669.976,00	4.072.324,00	110.224,00
2022	179,00	686.460,00	4.076.361,00	115.600,00
2023	129,00	702.960,00	4.080.400,00	121.104,00

Fuente: Elaboración propia con datos de la tabla I-11. Ministerio de Hidrocarburos y Energías. (2024, octubre). *Balance Energético Nacional 2006-2021*. y Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). (2019-2021). *Anuario Estadístico*

$$\sum X = 12.105 \quad \sum Y = 1.972 \quad \sum XY = 3.978.643 \quad \sum X^2 = 24.421.855 \quad \sum Y^2 = 649.142$$

$$\bar{X} = 2.017,50 \quad \bar{Y} = 328,67$$

$$n = 6$$

$$b = 7,60$$

$$a = -15.004,33$$

$$r = 0,98$$

Del mismo modo se determina los datos para proyectar el consumo del diésel oíl importado en Tarija.

Tabla I- 35: Datos de proyección de importación de diesel en Tarija (en miles de barriles)

X= Años	Y= Importación	XY	X ²	Y ²
2018	454,00	664.950,00	4.060.225,00	108.900,00
2019	541,00	699.552,00	4.064.256,00	120.409,00
2020	376,00	732.171,00	4.068.289,00	131.769,00
2021	557,00	766.840,00	4.072.324,00	144.400,00
2022	699,00	799.524,00	4.076.361,00	156.816,00
2023	788,00	832.240,00	4.080.400,00	169.744,00

Fuente: Elaboración propia con datos de la tabla I-11. Ministerio de Hidrocarburos y Energías. (2024, octubre). *Balance Energético Nacional 2006-2021*. y Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). (2019-2021). *Anuario Estadístico*

$$\sum X = 12.105 \quad \sum Y = 2.228 \quad \sum XY = 4.495.277 \quad \sum X^2 = 24.421.855 \quad \sum Y^2 = 832.038$$

$$\bar{X} = 2.017,50 \quad \bar{Y} = 371,33$$

$$n = 6$$

$$b = 16,40$$

$$a = -32.715,67$$

$$r = 0,99$$

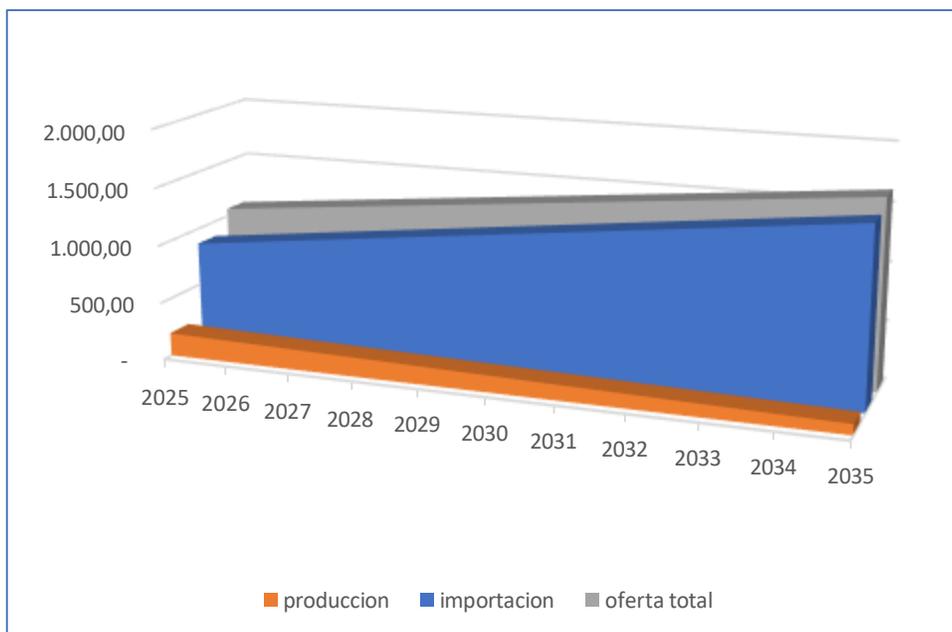
Con los anteriores datos para la proyección y aplicando el método de regresión lineal se proyecta la producción e importación de Tarija, y por consiguiente la oferta total que vendría a ser la suma de ambas, producción más importación.

Tabla I- 36: Proyección de la oferta global de diésel oíl en Tarija (En miles de barriles)

Año	importación	producción	oferta total
2025	868,10	198,29	1.066,38
2026	934,52	187,57	1.122,10
2027	1.000,95	176,86	1.177,81
2028	1.067,38	166,14	1.233,52
2029	1.133,81	155,43	1.289,24
2030	1.200,24	144,71	1.344,95
2031	1.266,67	134,00	1.400,67
2032	1.333,10	123,29	1.456,38
2033	1.399,52	112,57	1.512,10
2034	1.465,95	101,86	1.567,81
2035	1.532,38	91,14	1.623,52

Fuente: Elaboración propia 2024.

Figura 1- 17: Proyección de la oferta global, importación y producción de diésel en Tarija (En miles de barriles)



Fuente: Elaboración propia 2024.

1.7.3 Proyección de la demanda nacional

Para realizar la proyección de la demanda del producto se analiza la demanda nacional de diésel, es decir, el consumo o comercialización de diésel que existe dentro del país. Esto para obtener un dato referente a cuanto es el mercado de diésel en el país.

Se utiliza el mismo método, método de mínimos cuadrados o regresión lineal.

Tabla I- 37: Datos para la proyección de la demanda nacional de diésel (En Mbbl)

X= Años	Y= demanda	XY	X ²	Y ²
2015	11,28	22.879,04	4.056.196,00	129,05
2016	11,38	22.729,20	4.060.225,00	127,238
2017	12,05	22.942,08	4.064.256,00	129,504
2018	12,47	24.304,85	4.068.289,00	145,203
2019	12,64	25.164,46	4.072.324,00	155,501
2020	10,46	25.944,15	4.076.361,00	165,123
2021	13,01	21.109,00	4.080.400,00	109,203
2022	14,4	26.293,21	4.084.441,00	169,26

Fuente: Elaboración propia de la tabla I-14, 2024

$$\sum X=16.140 \quad Y=94,85 \quad \sum XY=191.365,99 \quad \sum X^2=32.562.492 \quad \sum Y^2=1.130,08$$

PROMEDIO

$$\bar{X} = 2.017,50$$

$$\bar{Y} = 11,86$$

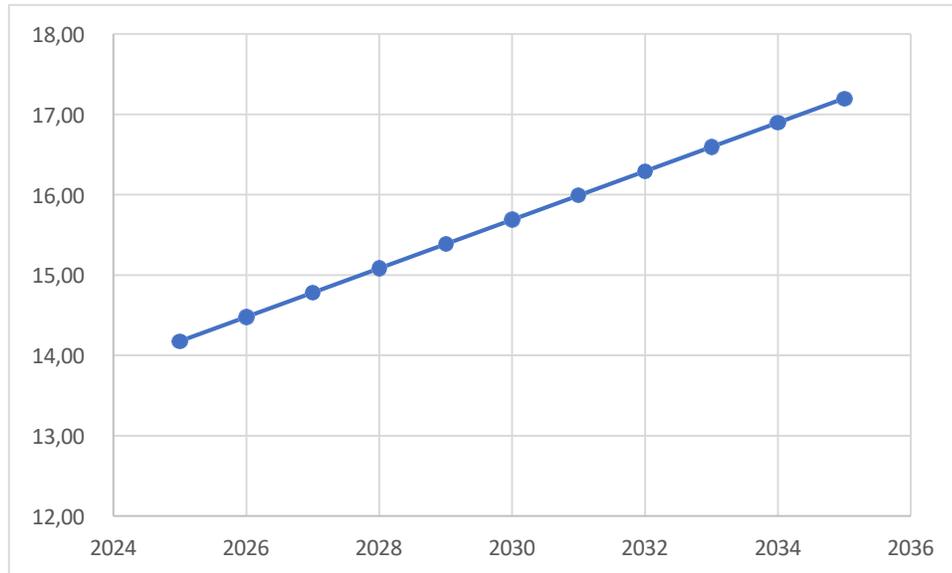
$$b = 0,1416 \quad a = -281,882 \quad r = 0.97$$

Tabla I- 38: Proyección de la demanda nacional de diésel (en miles de barriles)

año	demanda
2025	14,18
2026	14,48
2027	14,78
2028	15,08
2029	15,39
2030	15,69
2031	15,99
2032	16,29
2033	16,59
2034	16,90
2035	17,20

Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 1- 18: Proyección de la demanda nacional de diésel



Fuente: Elaboración propia 2024.

De igual forma obtenemos la correlación de una recta casi perfecta porque el factor de correlación se acerca bastante a la unidad.

1.7.4 Proyección de la demanda insatisfecha

La demanda insatisfecha es la diferencia de la demanda y la oferta. Cuando la demanda es mayor que la oferta existe demanda insatisfecha y si por lo contrario la oferta es mayor que la demanda no existe demanda insatisfecha. Con los datos de proyecciones de oferta y demanda podemos determinar la demanda insatisfecha nacional

Tabla I- 39: Proyección de la demanda insatisfecha Nacional (Kbbl/año)

año	Producción	Demanda	Demanda Insatisfecha
2025	2.391	14.176	11.785
2026	2.272	14.478	12.206
2027	3.733	14.780	11.047
2028	5.409	15.083	9.673
2029	7.277	15.385	8.108
2030	9.317	15.687	6.370
2031	11.518	15.990	4.471
2032	13.869	16.292	2.423

Fuente: Elaboración propia. Con datos de producción tabla I-8. (2024)

El principal objetivo es poder disminuir los costos de importación es decir la demanda insatisfecha de diésel en el país, y sobre todo en la región de Tarija que es por donde se tendría que empezar para mejorar La demanda insatisfecha proyectada en Tarija podría ser:

Tabla I- 40: Proyección de demanda insatisfecha en el departamento de Tarija (en kbbl)

Año	Oferta Global	Producción	Demanda insatisfecha
2025	1.066,38	198,29	868,10
2026	1.122,10	187,57	934,52
2027	1.177,81	176,86	1.000,95
2028	1.233,52	166,14	1.067,38
2029	1.289,24	155,43	1.133,81
2030	1.344,95	144,71	1.200,24
2031	1.400,67	134,00	1.266,67
2032	1.456,38	123,29	1.333,10
2033	1.512,10	112,57	1.399,52
2034	1.567,81	101,86	1.465,95
2035	1.623,52	91,14	1.532,38

Fuente: Datos de la proyección de la tabla I-11. 2024.

1.7.5 CONCLUSION DE ESTUDIO DE MERCADO

A medida del crecimiento de la masa poblacional también crecen los negocios de comidas rápidas de donde se obtiene la materia prima. Al recolectar los aceites usados de los lugares de venta de comida rápida se podrá enseñar hábitos de recolección en vez de contaminar el agua donde muchos de estos residuos causan un impacto ambiental negativo.

La proyección de aceites usados podemos verificar que se puede contar con materia prima para la ejecución de una planta de biodiesel.

Para determinar la capacidad de producción de este nuevo producto como el biodiesel es necesario estudiar si es factible respecto a la materia prima.

En las encuestas realizadas se pudo observar que si existen varios lugares de los que se puede sacar este producto para reutilizar y convertir en un biocombustible.

Con las encuestas realizadas podemos tener un dato estadístico de la cantidad de materia prima disponible. Que al realizar las conversiones respectivas se tiene:

Tabla I- 41: DISPONIBILIDAD DE ACEITE RESIDUAL EN TARIJA

Años	Aceite Usado (L/Día)	Aceite Usado (L/Año)	Aceite Usado (Bbl/Año)
2025	6.801	2.482.365	15.614
2026	7.503	2.738.595	17.225
2027	8.205	2.994.825	18.837
2028	8.907	3.251.055	20.449
2029	9.609	3.507.285	22.060
2030	10.311	3.763.515	23.672
2031	11.013	4.019.745	25.283
2032	11.715	4.275.975	26.895
2033	12.417	4.532.205	28.507
2034	13.119	4.788.435	30.118
2035	13.821	5.044.665	31.730

Fuente: Elaboración propia con los datos de encuesta a locales y restaurantes de Tarija, con las conversiones necesarias para obtener en datos de bbl/año. (2024)

Tabla I- 42: OFERTA GLOBAL DE DIESEL OÍL EN TARIJA (EN BBL/AÑO)

Año	Oferta Global	Importación	Producción
2018	765	454	310
2019	791	541	250
2020	644	376	267
2021	790	557	233
2022	878	699	179
2023	918	788	129

Fuente: Elaboración propia con datos de Tabla I-9 y I-10. (2024)

Según la ley de Bolivia 1098 en el artículo 6 se establece una gradualidad hasta alcanzar un máximo de 25%, un uso de B25 (25% de biodiesel + 75% de diésel oíl). De manera que a este combustible sustituya o disminuya las importaciones que afectan a la economía del país.

CAPÍTULO II

TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN

2.1 JUSTIFICACIÓN DEL TAMAÑO

“El tamaño de un proyecto es su capacidad instalada, y se expresa en unidades de producción por año”. (Baca Gabriel).

El tamaño está ligado a las variables de la oferta y de la demanda de la planta de biodiesel. En términos óptimos el tamaño no deberá ser mayor que la demanda actual y esperada del mercado, ni la cantidad demandada menor que el tamaño mínimo económico del proyecto.

2.1.1 Factores determinantes del tamaño

La determinación del tamaño responde a un análisis de las relaciones existentes entre el tamaño, la demanda, la disponibilidad de la materia, la tecnología, los equipos y el financiamiento. Todos estos factores contribuyen a simplificar las alternativas de tamaño entre las cuales se puede escoger.

2.1.2 El Mercado

La demanda existente en el mercado es un factor que condiciona el tamaño del proyecto, en el estudio de mercado se observa que la demanda insatisfecha de diésel es cubierta por los volúmenes importados de diésel; es decir que la oferta total, está compuesta por los volúmenes de diésel oíl de producción nacional y los volúmenes de importación, por cuanto la producción de biodiesel apunta a sustituir la importación de diésel oíl de petróleo.

Para determinar cuánto debe producir de biodiesel la planta se debe tomar en cuenta la proyección de la demanda de diésel en Tarija, como mercado principal se toma en cuenta Tarija.

También es necesario tomar en cuenta la incorporación porcentual de biodiesel que está estipulado en la ley 1098 (anexo A)

La Ley en su artículo 6, dispone la incorporación de biodiesel como aditivo del diésel petróleo de manera gradual y progresiva, hasta llegar a una proporción de 25% partiremos como mínimo de 2.5%.; para una gradualidad y poder alcanzar la proporción de 25% de lo que habla la ley.

Entonces de esta manera en la tabla II.1 se muestra el aumento progresivo de incorporación de biodiésel para llegar a un 25% en un periodo de diez años.

Tabla II- 1: Incorporación porcentual de biodiesel

AÑO	PORCENTAJE (%)
2025	2,5
2026	5
2027	7,5
2028	10
2029	12,5
2030	15
2031	17,5
2032	20
2033	22,5
2034	25

Fuente: Elaboración propia. 2024

En el estudio de mercado se determinó la proyección de diésel oíl producido e importado que se consume en Tarija, estos datos son muy importantes porque mediante a ellos se determinara en este estudio el volumen necesario para cubrir la demanda insatisfecha de la región

Como se mencionó anteriormente la producción de biodiesel apunta a sustituir la importación de diésel oíl de petróleo.

Por lo tanto, la proyección de la oferta global, producción más importación, dará una estimación de cuanto se debe producir de biodiesel.

A partir de la tabla I-36 del anterior capítulo y considerando los porcentajes de incorporación de biodiesel mostrados en la tabla II-1, obtenemos una estimación de los volúmenes de biodiesel que podría producirse, sin estudiar aun si las condiciones de capacidad instalada en el proceso y existencia de materia prima así lo permiten.

Tabla II- 2: Estimación de volumen de biodiesel para Tarija (en miles de barriles/año)

Año	Oferta importación	Factor de incorporación	Volumen de biodiesel
2025	868,10	2,50%	21,70
2026	934,52	5,00%	46,73
2027	1.000,95	7,50%	75,07
2028	1.067,38	10,00%	106,74
2029	1.133,81	12,50%	141,73
2030	1.200,24	15,00%	180,04
2031	1.266,67	17,50%	221,67
2032	1.333,10	20,00%	266,62
2033	1.399,52	22,50%	314,89
2034	1.465,95	25,00%	366,49

Fuente: Elaboración propia con datos de tabla II.1 y I-36. (2024)

Estos datos se obtienen de multiplicar el factor de incorporación de biodiesel con los volúmenes de importación de diésel de petróleo que son consumidos por la región.

La tabla anterior ofrece una estimación de los volúmenes de biodiesel que debieran producirse para cumplir con los porcentajes de incorporación del producto al diésel de petróleo.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio de mercado la demanda insatisfecha de diésel, es decir la importación para el primer año el 2025 alcanzará un volumen de 868,1 miles de barriles (kbbbl) de los cuales la empresa deberá cubrir con 21,70 miles de barriles, es decir los 2.5% del total de importación consumido, para añadir al diésel de petróleo y así disminuir las importaciones para la región.

Es conveniente entonces estudiar si la cantidad de materia prima, aceites vegetales usados de los diferentes locales de comida, permiten cubrir tales niveles de producción.

Para saber si la materia prima existente en la región es suficiente para cubrir tales volúmenes se necesita realizar los siguientes cálculos.

Según estudios realizados en la ciudad de La Paz de un proyecto para implementar una planta piloto, los procesos a realizar para obtener biodiesel a partir de aceites usados, tienen el siguiente rendimiento:

Respecto a la materia prima= 88.6 %

Respecto al aceite pre tratado=91%

Fuente: Universidad Mayor de San Andrés; Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos (I.I.D.E.P.R.O.Q); “Proyecto: Adecuación Tecnológica de la Obtención de Biodiesel” La Paz- Bolivia, 2007

Se realizó encuestas en los negocios donde venden comida para saber cuánto de materia prima se tiene, lo cual nos da un resultado de en aproximado 183 negocios de comida se obtendrá un promedio de 3.642 l/día de aceite usado de las dos encuestas realizadas en 2017 y 2018 (tabla I-32). Y tomando en cuenta el rendimiento de 88,6 % con respecto a la materia prima tenemos una producción de biodiesel de:

$$* 3.642 \frac{\text{l aceite usado}}{\text{día}} * \left(\frac{365 \text{ día}}{1 \text{ año}} \right) * \left(\frac{0.886 \text{ l de biodiesel}}{1 \text{ l aceite usado}} \right) * \left(\frac{1 \text{ bbl}}{158.987 \text{ l}} \right) =$$
$$7.408,067 \text{ bbl/año de biodiesel} \Rightarrow 7,41 \text{ Kbbl/año}$$

*este valor 3.642 es promedio de la cantidad de aceite residual de las dos encuestas realizadas

Lo cual significa que la materia prima en el departamento Tarija cubrirá:

$$21,70 \mapsto 100 \%$$

$$7,41 \mapsto X \%$$

$$X = \frac{7,41 \frac{\text{kbbbl}}{\text{año}} * 100\%}{21,70 \frac{\text{kbbbl}}{\text{año}}} = 35 \%$$

Es decir que la planta cubrirá el 35 % del volumen de biodiesel que se necesita para cubrir el porcentaje de incorporación del 2,5% para la mezcla con diésel de la demanda insatisfecha es decir el consumo de importación de la ciudad de Tarija. Eso con datos del primer año, y según proyecciones se estima que el aceite residual puede aumentar es decir que también puede aumentar la producción de biodiesel que obtendríamos de esa materia prima.

Capacidad de producción: 5000 It aproximado de materia prima aceites residuales obtenidos de la recolección de restaurantes y locales de la ciudad de Tarija.

2.2 JUSTIFICACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN

La localización óptima de la planta es la que contribuye en mayor medida a que se logre la mayor tasa de rentabilidad sobre el capital u obtener el costo unitario mínimo. (Ramírez, R., 1994).

La ubicación de la planta permitirá identificar el punto geográfico y el lugar donde se ejecutará el proyecto. Tanto la macro localización como la micro localización están justificando la cercanía del mercado del producto, así como también la provisión de la materia prima.

2.2.1 Macro localización

La ubicación de una futura planta de biodiesel en el departamento de Tarija.

Tarija, departamento más meridional de Bolivia, de 37.623 km² de superficie, el de menor extensión. Limita con Paraguay y Argentina al este y sur respectivamente, y con los departamentos de Potosí y Chuquisaca bolivianos al oeste y norte. Está surcado por

los ramales andinos de las cordilleras Oriental y Central, dando a la región un accidentado paisaje de valles de componente norte-sur que descienden desde los más de 4000 m a las llanuras perfectas y bajas del Chaco.

Los ríos de la cuenca del Paraguay, a través del Pilcomayo (con su afluente septentrional el Pilaya) y Bermejo al que desagua el río Grande de Tarija, constituyen los cursos más importantes.

La ciudad de Tarija se halla a 1.924 metros sobre el nivel del mar, su clima es templado y muy agradable, sus valles tienen un promedio de 17 a 23 grados y en los lugares tropicales oscila entre 25 y 35 grados, la estación lluviosa comprende los meses de diciembre a febrero. Templado y frío en la zona oeste.

Figura 2- 1: Macro localización de la empresa



Fuente: Educa, (2024), *Departamento de Tarija*. <https://www.educa.com.bo/content/departamento-de-tarija>.

Provincia Cercado.-Cercado es una de las 6 provincias en que se divide el departamento de Tarija, Bolivia.

Límites:

- Al norte con la provincia Eustaquio Méndez Arenas.
- Al sur con las provincias Avilez Arce.
- Al este con las provincias Francisco Burnett O'Connor.
- Al oeste con la provincia Eustaquio Méndez Arenas.

Extensión: 2.074 km².

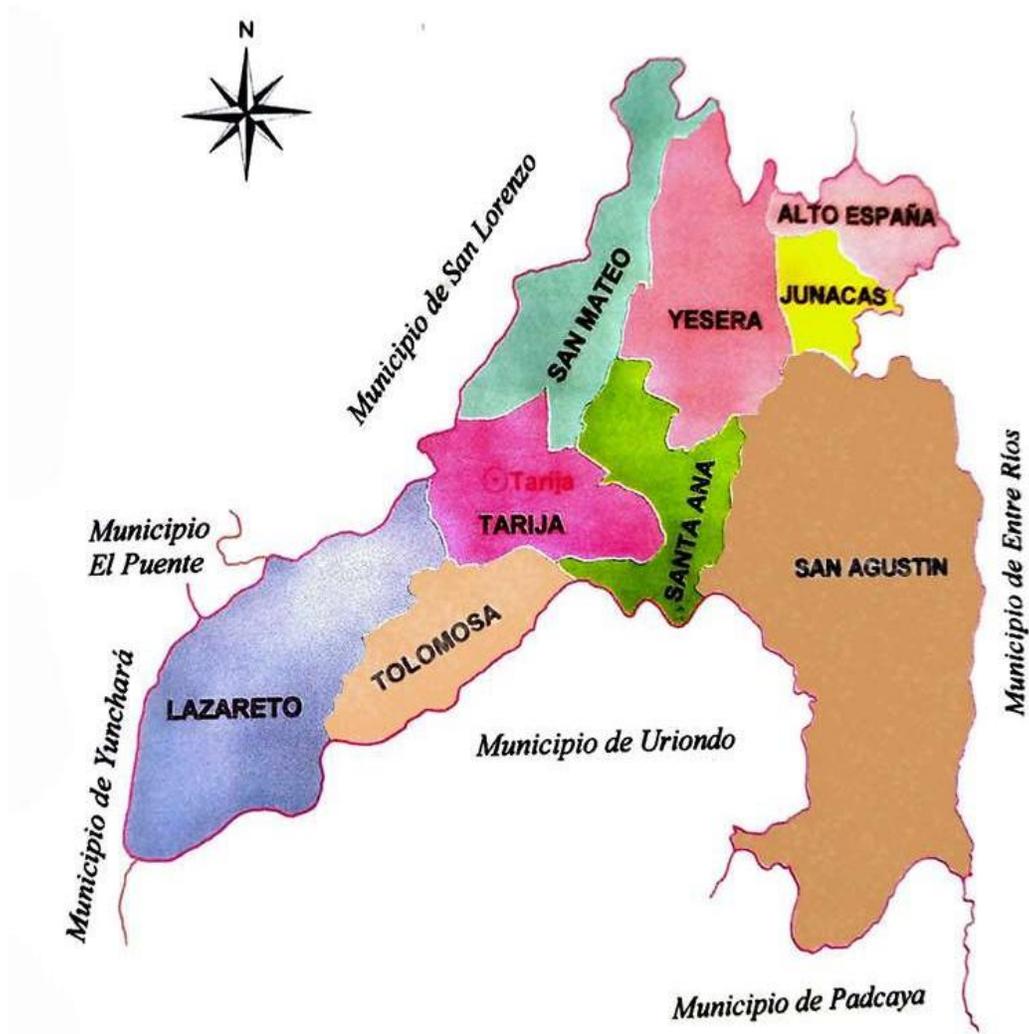
Población: 205.375 habitantes (censo 2012).

Densidad: 99,02 habitantes por km²

División regional: La provincia de Cercado está dividida en 9 distritos municipales.

Distrito	Capital
Alto España	Alto España Centro
Junacas	Junacas Sur
Lazareto	Guerra Guaico
San Agustín	San Agustín Norte
San Mateo	Sella Cercado
Santa Ana	Santa Ana
Tarija	San Bernardo de Tarija
Tolomosa	Tolomosa Sur
Yesera	Yesera Centro

Figura 2- 2: Ubicación de la macro localización de la planta de biodiesel



Fuente: Gobierno Autónomo Municipal de Tarija (2022), “TARIJA CAPITAL DEL DEPARTAMENTO”, <https://www.tarija.bo/capital-del-departamento/>

La materia prima son los aceites usados de restaurantes y otros negocios de comidas de la ciudad de Tarija, se realiza una encuesta a negocios de comidas de la región, la encuesta se realiza de las zonas más comerciales y concurridas de la ciudad.

Por esto que se asume que el mejor lugar para la instalación de la planta es esta provincia.

La ciudad de Tarija es capital de la Provincia Cercado, conformando todo su territorio el Municipio de la Ciudad de Tarija y la Provincia Cercado. El mismo que se rige por un Gobierno Autónomo Municipal, compuesto por el Ejecutivo Municipal, cuyo nombre oficial es Alcaldía Municipal y un legislativo municipal, siendo su nombre oficial Concejo Municipal.

2.2.2 Micro localización

Para determinar la micro localización exacta, se tiene los cantones del municipio y los barrios de la ciudad como alternativas, donde podría situarse la planta:

El Municipio de Tarija cuenta con 9 cantones, listados a continuación:

- Tarija
- Alto España
- Junacas
- Lazareto
- San Agustín
- San Mateo
- Santa Ana
- Tolomosa
- Yesera

Dentro de los mencionados cantones el Municipio de Tarija reconoció a 117 "Organizaciones territoriales de base", las mismas que en el área de la ciudad son los barrios y en el área rural las comunidades campesinas.

La ciudad de Tarija se ha expandido por ambas orillas del río Guadalquivir, en medio de un ameno valle, rodeado de boscosas y empinadas montañas. Aunque en la actualidad son 75 organizaciones vecinales, los principales barrios a saber son:

- El Molino
- Las Panosas
- San Roque
- La Pampa
- Virgen de Fátima
- La Loma de San Juan
- Narciso Campero
- Aranjuez
- Miraflores
- El Tejar
- San Gerónimo
- Petrolero
- San Blas
- San Juan
- Defensores del Chaco
- La Banda
- Villa Busch
- El Gallinazo
- Rosedal
- Juan XXIII
- San Martín

- Fabril
- Juan Nicolay
- 4 de julio
- Central
- Chapacos
- Germán Busch
- Luis de Fuentes
- Urbanización
catedral
- Andalucía
- Virgen de
Chaguaya
- SENAC
- Alto senac
- Tabladita
- Tabladita II
- San Antonio
- Barrio Magisterio
- Las Palmas

De estos cantones y barrios de la ciudad, las zonas que pueden considerarse industriales se encuentran en: El portillo, Santa Ana, San Luis Lugares donde existen lotes de terrenos disponibles para la instalación de la planta.

Además de la disponibilidad de terreno es necesario estudiar otros factores determinantes para justificar la localización de la planta de biodiesel.

La ubicación exacta de la planta es el barrio de El Portillo, al realizar los estudios de factores que determinan si la zona es apta para la instalación de la planta de biodiesel, se obtuvo calificaciones de los distintos factores primarios y secundarios que se debe considerar para localizar la planta.

La calificación más alta es de la zona El portillo, es cercana a la Ciudad y dispone de carreteras que lo hace fácilmente transportar la materia prima desde la ciudad, también cuenta con servicios de agua y energía que son ineludibles para instalar la planta. Además de ser una zona industrial y comercial, es apta para obtener un lote mediano y poder instalar la planta.

Figura 2- 3: Ubicación de la planta de biodiesel en la zona El Portillo



Fuente: Bolivia Inmobiliaria, (2021), Inmuebles en Tarija. <http://bolivia.inmobiliaria.com/fotos-de-terreno-urbano-en-tarija-capital-460m2-F1922844>

2.3 FACTORES DETERMINANTES

Los factores determinantes para la localización son la disponibilidad de materia prima e insumos.

2.3.1 Disponibilidad de materia prima

La empresa puede obtener materia prima a bajo costo directamente de los puestos de comidas rápidas, restaurantes, negocios de comida donde lo descartan la materia prima (aceite usado), dándole así un valor agregado a la materia con este nuevo proyecto.

La materia prima son los aceites vegetales usados de restaurantes, snack y locales de comida rápida, en la encuesta (ver anexo B) se verifico que en la ciudad de Tarija si existen negocios de comida rápida que estarán dispuestos a vender estos aceites residuales a precios bajos.

Situación que favorece al estudio por el bajo coste de materia prima para obtener el combustible biodiesel.

El factor más importante para el proyecto es la disponibilidad de la materia prima. Y esta con el factor tiempo se podrá obtener cada vez en mayores cantidades, ya que el aceite usado tendrá un valor agregado para los negocios de comida rápida.

Se realizó encuestas en los negocios donde venden comida para saber cuánto de materia prima se tiene, lo cual nos da un resultado de 3.642 l/día de aceite usado, lo que nos da: El volumen de biodiesel a obtener es 7.408,067 bbl/ año= 7,41 kbbl/ año (miles de barriles/año)

Pero no abastece lo que realmente debería cubrir que son: 11,5 kbbl/año; es decir que la planta cubrirá el 65% aproximadamente de lo que se tendría que consumir en la ciudad de Tarija.

2.3.2 Insumos

Los insumos son los reactivos que son necesarios para la transformación de biodiésel estos son:

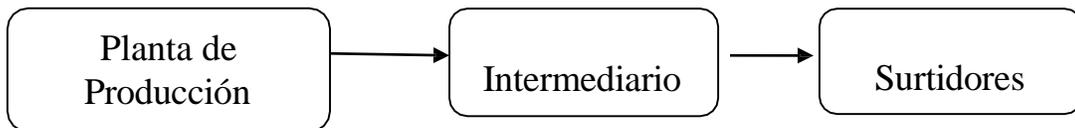
- **Metanol o etanol.**
- **Hidróxido de sodio (para etapa de transesterificación).**

Estos insumos se pueden obtener de distribuidores de reactivos químicos; sin embargo, es importante mencionar que estas sustancias son sustancias controladas y para su obtención es necesario tener el permiso respectivo según normas establecidas para su adquisición

Es factor determinante también la accesibilidad a la planta para suministro, transporte y distribución de la materia prima y del producto.

2.3.3 Accesibilidad

Se refiere al modo de poder transportar la materia prima y el producto. La materia prima se puede transportar primeramente en tachos o envases grandes por lo que no es una cantidad grande, y por lo que se refiere al producto, como se mencionó en el capítulo anterior: El biodiesel será comercializado en todas las estaciones de servicio de combustibles líquidos de Tarija, que cuenten con licencia y el producto llegará a las mismas mediante en siguiente canal de distribución:



Donde los intermediarios son transportistas afiliados a cooperativas, que llevarán el producto en cisternas de mayor capacidad desde la planta hasta los distintos surtidores.

Por lo que la localización de la planta de biodiesel se encontrará en la zona del Portillo, estando cotizados los terrenos en 25 \$us el m² para el proyecto se necesitará un área total de terreno de 210m²; estimando su costo en: 5.250 \$us. El tipo de cambio es 6,88 Bs por 1 \$us. (36.277,5 Bs.)

Tabla II- 3: Factores determinantes para la localización

FACTORES	peso relativo (%)	ZONA PORTILLO		ZONA SANTA ANA		ZONA SAN BLAS	
		CALIFICACION	PONDERACION	CALIFICACION	PONDERACION	CALIFICACION	PONDERACION
Mejor zona de disponibilidad de servicios básicos	30%	5	1,5	4	1,2	1	0,3
Mejor zona de disponibilidad de carreteras para transportar y tener fácil acceso a la fabrica	30%	6	1,8	3	0,9	2	0,6
Mejor Zona con facilidad de disposición de residuos y/o desechos	15%	3	0,45	6	0,9	1	0,15
Zona más cercana para reciclar aceite vegetales usados	20%	5	1	5	1	0	0
Zona de mejor clima y ambiente de trabajo para personal y operarios	5%	4	0,2	4	0,2	2	0,1
TOTALES	100%		4,95		4,2		1,15

Fuente: Elaboración propia (2024). Se realiza un cuestionario virtual para recolectar las respuestas, a personas emprendedoras.

En la tabla anterior se desarrolla determinación de la localización del proyecto por el método de factores ponderados.

La puntuación total para cada alternativa se calcula como la suma de las puntuaciones para cada factor ponderadas según su importancia relativa.

Las alternativas de zona portillo y zona santa ana son mejores que la de san Blas, por lo que la rechazamos. Entre los dos restantes, hay una pequeña diferencia a favor de zona portillo. Vemos que la zona portillo tiene la ventaja principal de tener mejor accesibilidad de transporte y estar muy próxima a la fuente de abastecimiento de materia prima, lo cual es un factor importante, mientras que no es la mejor zona en disposición de residuos y desechos es su punto débil. Pese a eso se opta por elegir a la mejor ponderación que en esta situación es zona el Portillo.

CAPÍTULO III
INGENIERÍA DEL PROYECTO

INGENIERÍA DEL PROYECTO

El objetivo de la ingeniería del proyecto es definir todo lo concerniente a la instalación y el funcionamiento de la planta. Desde la descripción del proceso, adquisición de equipo y maquinaria hasta la distribución óptima de la planta.

3.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS.

Las principales materias primas para la elaboración de biodiesel son las semillas oleaginosas y sus aceites derivados. Se puede decir que la producción de biodiesel proviene mayoritariamente de los aceites extraídos de semillas oleaginosas tradicionales, especialmente girasol, soja, colza y palma. Sin embargo, cualquier materia que contenga triglicéridos puede utilizarse para la producción de biodiesel (aceites de fritura usados, sebo de vaca, grasa de pollo y de pescado, etc.).

El reto para cualquier país o región consiste en la implementación de procesos basados en materias primas autóctonas, los cuales se deben optimizar para obtener un biodiesel con un costo de producción bajo que lo haga competitivo, pero que cumpla con las especificaciones internacionales de calidad para su uso como combustible en motores diésel.

3.1.1. Materia prima: Aceites de fritura usados

El aceite de fritura usado es una de las alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiesel, ya que es la materia prima más barata, y con su utilización se evitan los costes de tratamiento como residuo.

El aceite residual de cocina es uno de los grandes responsables de la contaminación del agua. Los aceites comestibles provenientes de materias primas como girasol, soja, oliva, maíz o palma, forman en la superficie del agua una película difícil de eliminar que afecta su capacidad de intercambio de oxígeno y altera el ecosistema.

Figura 3- 1: Aceite de cocina usado



Fuente: Foto de aceite usado de cocina de un puesto de comida rápida barrio Lourdes, 2020.

La necesidad de refinado de algunos aceites vegetales no los hace económicamente factibles para la producción de biodiesel, debido al alto costo de la materia prima y de producción (Haas, M.J. 2005; Marchetti, J.M., Miguel, V.U., Errazu, A.F. 2008). El costo del aceite refinado representa un 75 a 85% del precio total del biodiesel (Girard, P., Fallot, A. 2006).

Los aceites residuales de cocina usados son principalmente obtenidos de la industria de restaurantes o reciclados en sitios especiales. Puede no tener ningún costo o un 60% menos que los aceites refinados dependiendo de la fuente y la disponibilidad (Predojevic, Z.J. 2008). Los aceites usados presentan un gran nivel de reutilización, y muestran una buena aptitud para su aprovechamiento como biocombustible.

Tabla III- 1: Datos físicos del Aceite usado

Estado Físico	Líquido
Aroma	Característico a papa y pollo frito
Apariencia	Caramelo
Gravedad Específica	0,9206
pH	7,0
Densidad	920,6 kg/m ³
AGL (ácidos grasos libres)	0,19 %

Fuente: Datos de laboratorio ITIKA de aceite de fritura, 2018

El aceite usado que se analizó es de un puesto de comida rápida del barrio Lourdes y analizada en laboratorios de empresa ITIKA, fue utilizado por 7 días. Se determina AGL con la NB 34004 (ver anexo E)

3.1.2. Características de los reactivos utilizados en la producción de biodiesel

3.1.2.1. Metanol anhídrido

El metanol, también llamado alcohol metílico, alcohol de madera, carbinol y alcohol de quemar, es el primero de los alcoholes. Su fórmula química es CH₃OH. En condiciones normales es un líquido incoloro, de escasa viscosidad y de olor y sabor frutal penetrante, miscible en agua y como la mayoría de los solventes orgánicos, muy tóxico e inflamable.

El alcohol metílico es la materia prima para transesterificación más simple y ligera.

Sus propiedades más importantes son las siguientes:

Tabla III- 2: Datos físicos del Metanol

Estado Físico	Líquido
Aroma	Ligero aroma a alcohol
Apariencia	Clara incolora
Densidad	791,8 kg/m ³
Viscosidad	5,9x10 ⁻⁴ Pa .s
Gravedad Específica	0,792
Punto de congelamiento (K)	175,35
Punto de Ebullición (K)	337,80
Presión de vapor a 293.15 K	13,02 kPa
Tasa de evaporación	2,1
Peso molecular	32,04 g/mol
Volátiles, % por volumen	100 %
Solubilidad en agua a 293.15 K	Soluble
pH	No aplicable
Calor de combustión (kj/mol)	723
Calor de vaporización (kj/mol)	39,2
Punto de inflamación (K)	285,15

Fuente: Quimica.es (Enciclopedia Quimica.es), 2020, *Metanol*, <https://www.quimica.es/enciclopedia/Metanol.html>.

El metanol es un químico peligroso que es altamente combustible y extremadamente tóxico para los humanos tanto por su ingestión, por contacto, o por la inhalación de sus vapores. La exposición directa al mismo debe ser evitada.

Por otro lado, la acumulación de vapores de metanol en espacios cerrados puede ser explosivos. Los contenedores llenos del mismo pueden a su vez romperse violentamente si son expuestos al fuego o al calor por un tiempo prolongado.

Como consecuencia de estos hechos, se deberán tener en cuenta entre otros factores los siguientes:

1. Los tanques de almacenamiento deberán poseer protección catódica, polos a tierra y detectores de fugas, y deberán construirse a 50 metros de cualquier otra instalación. Además, se deberá ubicar un muro de contención.

2. Las bombas de proceso deberán tener sellos mecánicos que eviten cualquier tipo de fugas.

3. A partir de la mezcla de metanol con aceite, todos los equipos trabajarán a una presión ligeramente superior a la atmosférica, pero deberán estar sellados para evitar la salida de vapores de cualquier tipo.

4. Las instalaciones de la planta deberán poseer un sistema eficiente de ventilación, que evite la acumulación de vapores de metanol, que puedan causar daños a los trabajadores, o una posible inflamación.

3.1.2.2. Hidróxido de Sodio – Soda Cáustica

El catalizador seleccionado para la reacción de transesterificación es el hidróxido de sodio, comúnmente conocido como “soda cáustica”.

Se trata de un sólido blanco, higroscópico, que absorbe humedad del aire, corroe la piel y se disuelve muy bien en el agua liberando una gran cantidad de calor. Generalmente se utiliza en forma sólida o en solución. El hidróxido de sodio es uno de los principales compuestos químicos utilizados en la industria. Es ampliamente utilizado en la fabricación de papel, en la industria del algodón, en la industria textil, en la fabricación de jabón y en la fabricación de muchos otros productos químicos.

Figura 3- 2: Hidróxido de sodio



Fuente: Walker, M. (2008), *Hidróxido de sodio*, (Wikipedia), https://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3xido_de_sodio.

Sus ventajas sobre otras sustancias catalíticas se basan en que las velocidades de reacción son más altas, es fácil de conseguir en el mercado, y las sustancias generadas en las etapas de purificación, debido a la presencia del hidróxido, son fáciles de retirar o no presentan inconvenientes como impurezas incluidas en los productos. Sin embargo, se deberán considerar dos aspectos en la manipulación de esta sustancia: el primero, que antes de realizarse la solución, la soda en estado sólido debe mantenerse en condiciones anhidras, pues la hidratación y solubilización genera altas cantidades de calor, lo cual puede causar daños en los recipientes contenedores. El segundo aspecto a considerar es que las soluciones de hidróxido de sodio poseen pH entre 10 y 13, que son bastante corrosivas, por lo cual las tuberías de conducción de metanol-hidróxido deberán ser construidas con materiales resistentes a valores altos de pH. (Market & Public Policy Developments, Quality, Standards & Handling”. Prepared by Methanol Institute and the Global Biofuels Center. USA, February, 2007).

Tabla III- 3: Propiedades físicas del hidróxido de sodio

Estado Físico	Sólido
Aroma	Sin olor
Apariencia	Cristalino, blanco
Gravedad Específica	0,792
Densidad	2.130 kg/m ³
Viscosidad	4x10 ⁻³ Pa .s
Punto de congelamiento (K)	175,35
Punto de Ebullición (a 760 mm Hg)	1.388°C
Presión de vapor a 739 °C	1mm Hg
Punto de fusión	318°C
Peso molecular	40 g/mol
Calor específico (20°C)	0,35 cal/g
Calor latente de fusión	40 cal/g

Fuente: Quimica.es (Enciclopedia Quimica.es), 2020, *Hidróxido de sodio*, https://www.quimica.es/enciclopedia/Hidr%C3%B3xido_de_sodio.html.

3.1.3. Productos

3.1.3.1. Biodiesel

El producto principal del proceso productivo es el Biodiesel puro o B100, listo para ser comercializado. El mismo podrá ser utilizado como combustible en su estado puro o en mezclas con petrodiesel, dependiendo de las características de los motores en los que vaya a ser aplicado.

3.1.3.2. Normas para la Obtención del Biodiesel

Existen muchas normas que especifican los requerimientos mínimos de calidad que debe cumplir un biodiesel como combustible y también como éster. Entre las normas más completas para el biodiesel se encuentran las ASTM D6751 y las normas europeas EN14214 que especifican los rangos que deben cumplir los diferentes parámetros y los procedimientos para la determinación de los mismos.

Tabla III- 4: Normas para el biodiesel como combustible

Propiedad	Unidad	ASTM D975-97 Diesel	ASTM D6751-09 Biodiesel	ISO Biodiesel
Punto de inflamación	°C	38	93	>101
Viscosidad cinemática (40 °C)	mm ² / s	1,3 a 2,4	1,9 a 6,0	3,5 a 6,0
Agua y sedimento	% vol.	0,05	0,05	500 mg/kg
Cenizas sulfatadas	% p/p	0,01	0,02	0,02
Azufre máx.	% p/p	0,5	0,05	10 mg/kg.
Índice de cetano mín.		40		51
Numero de cetano min.		40	47	
Punto nube		A reportar	A reportar	A reportar
Residuo de carbón min.	% p/p	0,35	0,05	
Numero de ácido máx.	KOH mg/g		0,5	
Fosforo	% p/p		0,001	10 mg/kg.
Punto final de destilación	°C, 90%	282 – 338	360 (Al vacío)	
Corrosión al cobre	3h a 50°C	No 3 máx.	No 3 máx.	No 1 máx.

Fuente: Mordejay H. Mirón L. Jehudit R. & Marca K, (2006), *Producción de combustible diésel a partir de aceites vegetales y animales*,

<https://patentimages.storage.googleapis.com/90/26/e7/3e34c0ebc2be58/WO2006100584A2.pdf>.

ASTM: Normas americanas.; EN: Normas europeas.; ISO: Normas internacionales.

Tabla III- 5: Propiedades fisicoquímicas del biodiesel

Aroma	Fuerte característico
Apariencia	Amarrillo-marrón
Gravedad Específica	0,88
Punto de fusión (°C)	-1
Punto de Ebullición (°C)	Superior a 204°C a 1.760 mm Hg
Presión de vapor	inferior a 1 mm Hg a 72°C
Densidad de vapor, aire=1	>1
Solubilidad en agua	Despreciable a temperatura ambiente.
Densidad relativa	0,88 a 15°C

Fuente: Benjumea H, P. N., Agudelo Santamaría, J. R., Rios, L. A. (2009). *Biodiésel: Producción, calidad y caracterización*. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.

3.1.3.3. Glicerina subproducto del Biodiesel.

En la síntesis del biodiesel, se forman entre el aceite y el alcohol, normalmente metílico, ésteres en una proporción aproximada del 90% más un 10% de glicerina.

La glicerina o glicerol es un subproducto del proceso de transesterificación, que debido a su amplio uso en la industria en general, se presenta como una oportunidad adicional de ganancia realizando una serie de operaciones de purificación a bajo costo.

La glicerina es eliminada del proceso cuando se procede al lavado con agua. Sin embargo, la glicerina puede encontrarse en el biodiesel como consecuencia de un proceso inapropiado, como puede ser una insuficiente separación de la fase de glicerina o un insuficiente lavado con agua.

La glicerina se emplea en la fabricación, conservación, ablandamiento, humectación de gran cantidad de productos, éstos pueden ser resinas alquídicas, celofán, tabaco, explosivos (nitroglicerina), fármacos y cosméticos, espumas de uretano, alimentos y bebidas, etc.

Estas glicerinas tienen un valor económico positivo y su comercialización forma parte de la rentabilidad del biodiesel. Sin embargo, la creciente oferta de glicerina está provocando ya una disminución de sus precios de venta con la consiguiente problemática de merma de rentabilidad que ello supone para el sector del biodiesel.

En la síntesis del biodiésel, se forman entre el aceite y el alcohol, normalmente metílico, ésteres en una proporción aproximada del 90% más un 10% de glicerina. La glicerina representa un subproducto muy valioso que de ser refinada a grado farmacológico puede llegar a cubrir los costos operativos de una planta productora.

Tabla III- 6: Propiedades físicas de la glicerina

Propiedad	Especificación
Apariencia	Líquido incoloro viscoso
Peso molecular	92,10 g/mol
Gravedad Específica	1,26
Punto de fusión (°C)	18
Punto de Ebullición (°C)	290
Presión de vapor	inferior a 1 mm Hg a 72°C
Densidad	1,26 gr/ml
Viscosidad a 298,15 K	$9,48 \times 10^{-1}$ Pa·s
Solubilidad en agua	Soluble en agua y alcohol. Insoluble en éter, benceno, cloroformo, aceites finos y volátiles.
pH	Ligeramente básico
Calor de combustión (kj/mol)	18,3
Calor de vaporización (kj/mol)	61,4

Fuente: “Winkler, (2017,11 ver 03), *Hoja de datos de seguridad glicerina*, <https://winklerltda.cl/quimicav2/wp-content/uploads/2022/06/GLICERINA-P.A.pdf>

3.2. PROCESOS PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL

En este capítulo explicaremos el propio proceso de producción del biodiesel: la transesterificación, incluyendo los pasos necesarios de pretratamiento del aceite para asegurar su calidad adecuada, así como los de pos tratamiento del biodiesel para purificarlo de manera que cumpla con sus especificaciones técnicas.

Finalmente, se describen brevemente algunas tecnologías más avanzadas de transesterificación y producción de biocombustibles líquidos.

3.2.1. Método Acido-Base

Según estudios realizados anteriormente (Pisarello, M. L., et al., 2006) para obtener el mayor rendimiento de aprovechamiento de la materia prima de alta acidez se plantea que se haga una metodología de dos etapas en donde la primera es una etapa de disminución del grado de acidez y dando como producto biodiesel y la segunda es la transformación de los triglicéridos a biodiesel.

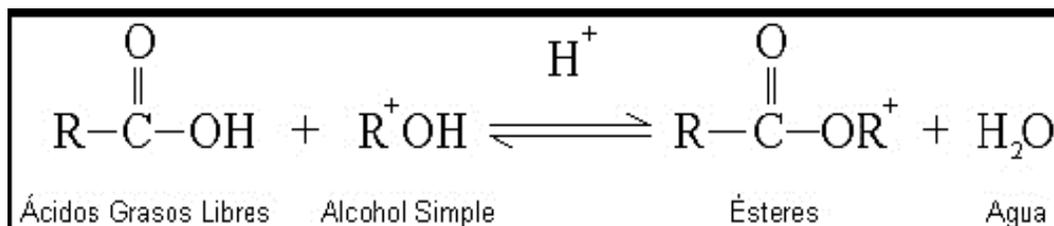
Por tanto, la metodología de producción de biodiesel que se estudiara tomara como base la consideración de realizarlo en dos etapas las cuales se describirán con más detalles a continuación:

- a. Primera Etapa: Esterificación
- b. Segunda Etapa: Transesterificación

a. Primera Etapa: Esterificación

La formación de esteres ocurre a través de una reacción de condensación conocida como esterificación. Esta requiere dos reactivos, un ácido y un alcohol. La reacción de esterificación es catalizada en medio ácido y procede de manera lenta en ausencia de ácidos fuertes como ácido sulfúrico, ácido fosfórico y ácido clorhídrico. La ecuación de una reacción de esterificación se muestra en la figura 3-5.

Figura 3- 3: Ecuación de reacción de Esterificación



Fuente: Benjumea H, P. N., Agudelo Santamaría, J. R., Rios, L. A. (2009). *Biodiésel: Producción, calidad y caracterización*. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia

b. Segunda Etapa: Transesterificación

Es una reacción de un lípido con alcohol para formar éster y glicerol. Es en principio la acción de un alcohol la que desplaza a otro del éster, esto se refiere al termino alcoholisis. La reacción química de transesterificación se muestra en la siguiente figura.

Figura 3- 4: Ecuación de reacción de Transesterificación



Fuente: Benjumea H, P. N., Agudelo Santamaría, J. R., Rios, L. A. (2009). *Biodiésel: Producción, calidad y caracterización*. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia

Cuatro métodos han sido investigados para reducir la alta viscosidad de aceites vegetales, y así permitir su uso en motores diésel sin problemas operacionales como formación de incrustaciones y depósitos: el uso de mezclas binarias con petrodiesel, pirolisis, microemulsificación y transesterificación.

Un catalizador es usualmente utilizado para proporcionar la velocidad y aumentar el rendimiento de la reacción. Debido a que la reacción es reversible, se utiliza un exceso de alcohol para alterar el equilibrio químico hacia los productos secundarios.

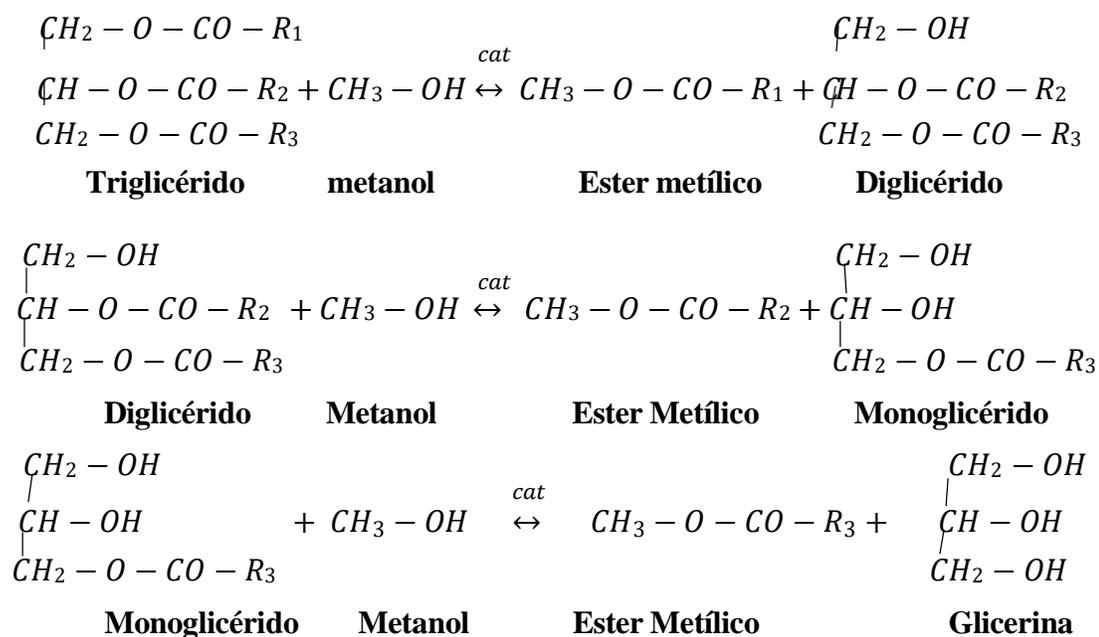
En la reacción de transesterificación (Figura 3-5), un mol de triglicéridos reacciona con tres moles de alcohol para formar un mol de glicerol y tres moles de los respectivos alquilésteres, en una secuencia de tres reacciones reversibles donde los triglicéridos son convertidos a diglicéridos, monoglicéridos y finalmente glicerol.

El glicerol y los ésteres son productos inmiscibles que se distribuyen en dos fases después de la reacción. Estas fases pueden ser separadas después de decantar o centrifugar.

Existen varios tipos de catálisis para la transesterificación, pero comercialmente para la

producción de biodiesel la más comúnmente utilizada es la catálisis homogénea, que se puede dividir principalmente en alcalina y ácida. También se han utilizado otros tipos de catalizadores heterogéneos (en fase sólida). Otras alternativas interesantes pueden ser la utilización de catalizadores enzimáticos como las lipasas (Haas, M.J. 2005).

Figura 3- 5: Etapas en la reacción de transesterificación



Fuente: Benjumea H, P. N., Agudelo Santamaría, J. R., Rios, L. A. (2009). *Biodiésel: Producción, calidad y caracterización*. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia

3.2.2. Catalizadores de la transesterificación

La transesterificación de los triglicéridos puede ser realizada mediante diferentes procesos catalíticos.

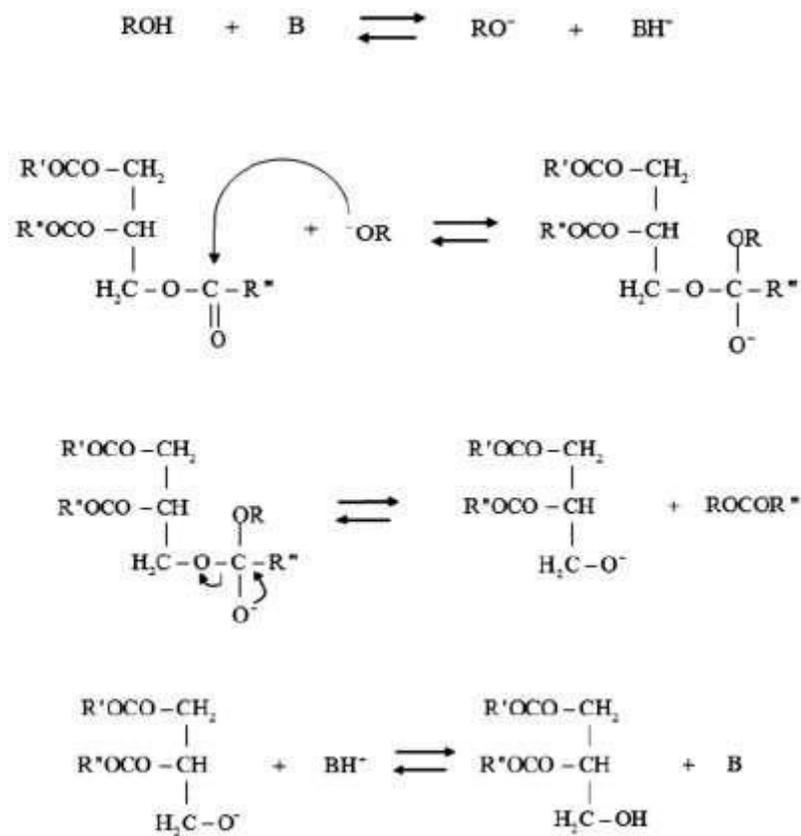
Existen varios tipos de catálisis para la transesterificación, pero comercialmente para la producción de biodiesel la más comúnmente utilizada es la catálisis homogénea, que se puede dividir principalmente en alcalina y ácida. También se han utilizado otros tipos de catalizadores heterogéneos (en fase sólida). Otras alternativas interesantes pueden ser la utilización de catalizadores enzimáticos como las lipasas (Haas, M.J. 2005).

3.2.2.1. Catálisis homogénea

A. Catálisis básica

En el caso de la catálisis alcalina, es muy importante que los catalizadores se mantengan en un estado anhidro. Debe evitarse su contacto prolongado con el aire, pues éste disminuye su efectividad debido a la interacción con la humedad y con el dióxido de carbono (Meher, 2006).

Figura 3- 6: Mecanismo de la transesterificación con catálisis básica



Fuente: Garcia E, Alfaro Y & Ruiz M, 2012. *Estudio de prefactibilidad para la generación de biodiesel a partir de aceite quemado en el restaurante Tip Top*, pag 83.

<https://yesseralfaro.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/04/tesis-biodiesel-industrial.pdf>.

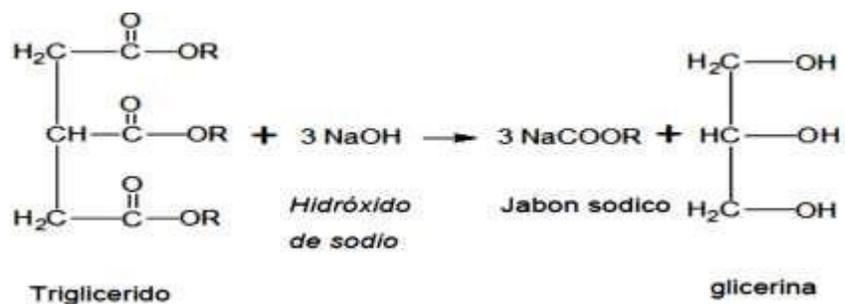
Los catalizadores básicos homogéneos proporcionan velocidades de reacción mayores que los catalizadores heterogéneos. Sin embargo, los procesos de separación son considerablemente costosos debido a que tienden a formar emulsiones y requieren del uso de 1 a 6 % en peso de catalizador para alcanzar buenos rendimientos (hasta un 98 %). Cuando se utilizan estos catalizadores se debe tener control en las condiciones de reacción, especialmente la temperatura y la cantidad de catalizador básico, para reducir al máximo la saponificación.

Los catalizadores básicos se utilizan a temperaturas que suelen estar entre 40 y 75 °C. Los catalizadores básicos como hidróxido de potasio (KOH) e hidróxido de sodio (NaOH) comúnmente se utilizan para la producción de biodiesel.

Estos hidróxidos presentan altas conversiones a condiciones moderadas y tiempos de reacción cortos, además son menos corrosivos para los equipos industriales y requieren pequeños volúmenes de alcohol.

Es indispensable que su humedad sea mínima, de lo contrario se presentarán reacciones secundarias de saponificación o de neutralización. El triglicérido reacciona con el catalizador básico, consumiendo éste, en presencia de agua dando lugar a la formación de jabones (reacción de saponificación), tal y como se puede ver en la reacción:

Figura 3- 7: Reacción de Saponificación



Fuente: Garcia E, Alfaro Y & Ruiz M, 2012. *Estudio de prefactibilidad para la generación de biodiesel a partir de aceite quemado en el restaurante Tip Top*, pag 85.

<https://yesseralfaro.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/04/tesis-biodiesel-industrial.pdf>.

B. Catálisis ácida

Los catalizadores ácidos pueden ser utilizados tanto para la esterificación de ácidos grasos libres con el fin de convertirlos directamente en ésteres o para la transesterificación de los triglicéridos.

Cuando la materia prima es un aceite con alto contenido de ácidos grasos libres (AGL), la esterificación ácida está recomendada como un primer proceso para tratar estos AGL, pero debe ser seguida por la transesterificación alcalina (con NaOH o KOH como catalizadores) para convertir los triglicéridos subsistentes.

Los catalizadores ácidos también pueden ser utilizados directamente para la transesterificación, pero esta reacción es extremadamente lenta (Bradshaw, 1942) y requiere de un exceso aún mayor de alcohol, lo cual la torna poco económica.

3.2.2.2. Catalizadores heterogéneos

Los catalizadores heterogéneos son aquellos que se encuentran en una fase diferente a la de los reactantes, es decir que no se encuentran disueltos en el alcohol o en el aceite, sino que son sólidos y son fácilmente recuperables por decantación o filtración al final de la reacción (Helwani, Z., Othman, M.R., Aziz, N., Kim, J., Fernando, W.J.N. 2009).

Este tipo de catalizadores permiten superar algunos de los principales problemas de los catalizadores homogéneos como el hidróxido de sodio o potasio, o el metilato de sodio: los procesos de purificación del biodiesel para separar los restos de catalizador, y los de tratamiento de efluentes contaminados con los catalizadores (Bournay *et al.*, 2005).

Se han utilizado catalizadores heterogéneos como hidrotalcitas (Trakarnpruk, W., Porntangjitlikit, S. 2008), carbonato de calcio, óxidos de estaño, magnesio y zinc, entre otros. Esta catálisis sólo requiere de la evaporación del metanol sin producción de efluentes residuales, además también se obtiene un glicerol puro sin contaminantes. Sin embargo, su elevado costo debido a la necesidad de elevadas condiciones de temperatura y presión como también de grandes volúmenes de alcohol, no permiten todavía una aplicación comercial en la producción de biodiesel (Mittelbach, M., Remschmidt, C. 2004).

3.2.2.3. Catalizadores enzimáticos

Los catalizadores enzimáticos como las lipasas (enzimas que en los seres vivos están encargadas de descomponer las grasas para permitir su digestión y asimilación) son capaces de catalizar la transesterificación de los triglicéridos superando los problemas mencionados arriba. Especialmente, el glicerol puede ser removido fácilmente, los ácidos grasos libres pueden ser convertidos totalmente en ésteres, y la presencia de agua no es problemática.

Existen dos tipos de catalizadores enzimáticos (Marchetti *et al.*, 2006):

- 1) Enzimas extra celulares, que han sido extraídas de las células vivas que las producen y posteriormente purificadas.
- 2) Enzimas intracelulares, que aún están dentro de las células que las producen. En este caso, son organismos vivos ciertas bacterias los que estarían realizando la catálisis.

Tabla III- 7: Comparación entre un catalizador alcalino y enzimático para la producción de biodiesel

Características a evaluar	Proceso con catalizador Alcalino	Proceso con catalizador Enzimático
Temperatura de reacción	60-70 °C	30-40 °C
Ácidos grasos libres en materiales crudos	Productos saponificados	Métil ésteres
Agua en materiales crudos	Interfiere con la reacción	No influye
Producción de metil ésteres	Normal	Alto
Recuperación de glicerol	Difícil	Fácil
Purificación de metil ésteres	Repetir lavado	Ningún lavado
Costo de producción del catalizador	Barato	Relativamente caro

Fuente: Gómez Uribe, M. (2010), “*Simulación de una planta piloto para la producción de biodiesel en el laboratorio de operaciones unitarias de la ESIQIE*”, (Tesis individual, INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, México), pág. 19
Archivo digital, <https://seminariorepensarlabioquimica.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/08/tesismoraymabiodiesel2.pdf>

3.2.3. Parámetros que afectan la reacción de transesterificación

Los parámetros que afectan la reacción de transesterificación se pueden dividir en dos:

- 1) Las condiciones de reacción, y
- 2) las características del aceite.

La transesterificación de aceites vegetales depende de las condiciones de reacción utilizadas en el proceso, tales como: temperatura y tiempo de reacción, concentración molar alcohol: aceite vegetal, tipo de alcohol, tipo y concentración de catalizador y tiempo de reacción.

3.2.3.1. Relación molar alcohol: aceite vegetal

En la alcoholisis química se utilizan relaciones molares mayores a la estequiométrica (> 3:1), alimentando un exceso de alcohol.

Sin embargo, esto puede generar problemas de separación de las fases, disminuye el rendimiento y aumenta los costos de producción. La relación molar óptima en catálisis básica es 6:1 (rendimientos > 93%) en la metanolisis de aceite de soya, girasol y algodón. En la alcoholisis en dos etapas del aceite de tabaco se utilizó una relación molar de 18:1 en la 1ra. Etapa, y 6:1 en la 2da. Esto indica que la catálisis ácida requiere mayor relación molar que la catálisis básica.

3.2.3.2. Temperatura de reacción y presión

La transesterificación puede ocurrir a presión atmosférica y a diferentes temperaturas dependiendo de la materia prima utilizada. El rendimiento de la reacción es directamente proporcional a la temperatura (Ma, F.R., Hanna, M.A. 1999; Meher, L.C., Vidya Sagar, D., Naik, S.N. 2006). Frecuentemente la transesterificación se lleva a cabo a una temperatura cercana al punto de ebullición del alcohol (a 60°C cuando se utiliza metanol); sin embargo se han estudiado temperaturas que varían desde 25 a 250°C (Fukuda, H., Kondo, A., Noda, H. 2001).

El biodiesel también puede ser producido mediante métodos a alta presión, por ejemplo, a 100 bares y 250°C usando grandes cantidades de metanol y sin necesidad de pretratamiento de la materia prima o también usando metanol a condiciones

supercríticas a 350°C y 43 MPa. Sin embargo, debido a los altos costos estos procesos no son apropiados para la producción de biodiesel (Mittelbach, M., Remschmidt, C. 2004; Pinzi, S., Garcia, I.L., Lopez-Gimenez, F.J., de Castro, M.D.L., Dorado, G., Dorado, M.P. 2009).

3.2.3.3. Tiempo de reacción

Se ha encontrado que el rendimiento aumenta con el tiempo de reacción. El rendimiento de la transesterificación es directamente proporcional al tiempo de reacción, sin embargo, puede variar dependiendo del tipo de materia prima y del catalizador que se utilice (Ma, F.R., Hanna, M.A. 1999).

También se ha encontrado que se requiere menor tiempo de reacción cuando se emplea metanol en lugar de etanol, con similares condiciones de operación, ya sea en catálisis ácida o alcalina, para alcanzar el mismo rendimiento.

3.2.3.4. Tipo de alcohol

Los alcoholes que tradicionalmente se usan en la transesterificación son de cadena corta, principalmente metanol (Rashid, U., Anwar, F., Moser, B.R., Ashraf, S. 2008) y etanol (Alamu, O.J., Waheed, M.A., Jekayinfa, S.O. 2008). Comercialmente el metanol es el alcohol más utilizado, aunque se pueden utilizar otros como: etanol, propanol, isopropanol, butanol, isobutanol, pentanol e isopentanol. La selección del alcohol depende de los costos, del desempeño en la etapa de separación, y que provenga de fuentes renovables.

Se ha encontrado que durante la reacción se forma una emulsión que desaparece formando dos fases líquidas cuando se utiliza metanol, pero dicha emulsión permanece al emplear etanol, evitando la separación y purificación de las fases. Esto se puede evitar evaporando el alcohol al terminar la reacción.

Se ha reportado que la etanólisis mejora cuando se utiliza NaOH, debido a que se incrementa la solubilidad del alcohol en el aceite. (Cerveró J., C.J., Luque S, 2008.)

El metanol tiene un menor costo y presenta algunas ventajas químicas y físicas sobre el resto de los alcoholes, como su rapidez de reacción con los triglicéridos y que

disuelve fácilmente el NaOH (Ma, F.R., Hanna, M.A. 1999). Es importante resaltar la alta toxicidad del metanol y su inflamabilidad, y que éste se obtiene principalmente de fuentes fósiles no renovables como el gas metano.

3.2.3.5. Tipo de catalizador

El tipo de catalizador depende de la naturaleza del aceite utilizado y de su precio. Si el aceite tiene un alto contenido de AGL y humedad se recomienda emplear catalizadores ácidos, ya que la catálisis básica favorece las reacciones de saponificación. Sin embargo, los catalizadores básicos son los más utilizados en la industria por que se requieren temperaturas y relación molar alcohol aceite bajas, tiempos cortos de reacción, y corroen menos los equipos y tuberías.

El hidróxido de sodio e hidróxido de potasio son capaces de catalizar la transesterificación y debido a que son muy baratos, extensamente son usados en la industria de producción de biodiesel.

3.2.3.6. Concentración de catalizador

Este parámetro afecta el rendimiento hasta ciertos valores, ya que promueve la formación de sales, la emulsificación de la mezcla, y genera costos adicionales por su consumo. Se ha encontrado que los mayores rendimientos en la metanólisis de aceite de soya con KOH se obtienen a una concentración de 1% peso (relación molar de 6:1, 20 °C, 0.5 hora); mientras que con $\text{Ca}(\text{OCH}_3)_2$ al 4% peso se alcanza un rendimiento del 98%, en 3 horas. (Morayma Uribe Gómez, 2010.)

3.2.4. Transesterificación alcalina

La transesterificación alcalina es el proceso más simple y más utilizado para fabricar biodiesel. Sin embargo, requiere de un aceite con bajo contenido de ácidos grasos libres, agua y otras impurezas, o de procesos adicionales de pretratamiento de la materia prima para asegurar esta calidad. Además, requiere de pasos posteriores de postratamiento del biodiesel para reducir su contenido de impurezas procedentes del proceso, principalmente restos de catalizador, y de postratamiento de la glicerina para purificarla parcialmente e incrementar su valor de mercado.

Es por esto que otros procesos han sido desarrollados para aceites menos puros, para mejorar el rendimiento de la transesterificación, o para intentar acelerarla, pero sin embargo su uso aún no está generalizado.

3.2.4.1. Pretratamiento del aceite

La mayor parte del biodiésel se produce a partir de aceites comestibles semirrefinados con buenas características de acidez y humedad.

Sin embargo, existe gran cantidad de aceites y grasas de menor calidad y menor costo que también podrían ser convertidos en biodiesel, por ejemplo, aceites vegetales crudos, grasas animales y aceites usados o residuales.

El problema para procesar estas materias primas baratas es que suelen tener grandes cantidades de ácidos grasos libres (ver Tabla III-9), gomas, humedad y otras impurezas que afectan el proceso de transesterificación alcalina.

Tabla III- 8: Acidez aproximada de algunas materias primas baratas

Materia prima	Rango de acidez
Aceites de cocina usados	2-7 %
Grasas animales	5-30 %
Grasas de trampas de grasa	Cerca de 100%

Fuente: Martínez Bernal, R.A. (2019).“ *Elaboración y caracterización de biodiesel como energía alternativa a partir de aceite de pescado*”, (Tesis de pregrado, Universidad de Ibagué Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Mecánica), *pág. 15*, Archivo digital. <https://repositorio.unibague.edu.co/server/api/core/bitstreams/1a594075-ea0f-4b60-9a7b-dc00b7ca5abe/content>

Por eso, el aceite para producir biodiesel debe ser refinado parcialmente, con el objetivo de: eliminar gomas, que podrían resultar en formación de emulsiones durante el

proceso, los fosfátidos, de manera que los efluentes del proceso no tengan fosfatos y se reduzcan sus costos de tratamiento. Eliminar ácidos grasos libres, para facilitar la transesterificación y posteriormente la purificación de la glicerina, ceras, para mejorar el desempeño en frío del biodiesel y otros contaminantes, para así obtener una mejor calidad de la glicerina (Westfalia Separator Food Tec, 2006).

Esta refinación parcial (pretratamiento) puede incluir los siguientes procesos:

- Desgomado (en los aceites que tienen gomas, como el de soya y semilla de algodón).
- Neutralización (en los aceites con alta acidez, como el de palma).
- Lavado (para eliminar residuos de la neutralización).
- Secado (para eliminar el contenido de agua).

Si la acidez del aceite es muy alta, la neutralización no es conveniente porque implica la pérdida de los ácidos grasos libres en forma de jabones. Entonces, el proceso de refinación sugerido es:

- Desgomado.
- Esterificación ácida
- Secado.

Finalmente, para mejorar las propiedades de flujo en frío del biodiesel, se puede requerir un proceso de fraccionamiento o winterización, con el fin de separar las fracciones con mayores puntos de fusión del aceite

A. Desgomado

El desgomado con agua es la forma más simple de reducir la cantidad de fosfolípidos y fosfátidos en los aceites. El aceite se calienta a aproximadamente 90°C, se agrega pequeñas cantidades de agua para hidratar las gomas y hacerlas insolubles en el aceite. La cantidad de agua a usar debe ser similar al peso seco de las gomas a remover. Después de unos 5 minutos las gomas hidratadas pueden ser removidas por centrifugación. Las impurezas que se pueden eliminar por este método son fosfátidos hidratables, triglicéridos ocluidos y otros compuestos solubles en agua como azúcares (Dorsa, 2004; Lawson, 1994).

B. Neutralización, lavado y secado

Aceites con un contenido de hasta 5% de ácidos grasos libres pueden ser procesados con catálisis alcalina añadiendo mayor cantidad de catalizador para compensar las pérdidas en el jabón.

El jabón que se produce es eliminado en el glicerol y/o durante el proceso de lavado con agua, y la única desventaja de este proceso es la pérdida de materia prima en jabones en lugar de biodiesel.

Aceites con más del 5% de AGL no pueden ser transesterificados por catálisis alcalina, porque los jabones inhibirían la separación del biodiesel de la glicerina y además llevarían a la formación de emulsiones durante el lavado (Van Gerpen, 2005).

Para superar este problema existen dos alternativas: la neutralización del aceite o la esterificación ácida de los ácidos grasos libres.

La neutralización consiste en hacer reaccionar el aceite con una sustancia alcalina como el hidróxido de sodio para eliminar los ácidos grasos libres, responsables de su acidez. El aceite se calienta a 85°C (en caso de aceites muy ácidos a 65°C) y se aplica hidróxido de sodio diluido en una cantidad tal que neutralice los ácidos en el aceite y con un exceso que favorezca la separación de los jabones y evite la formación de emulsiones. Este jabón se separa luego centrifugando la mezcla de grasa y jabón. Después, el aceite o grasa se lava con agua una o dos veces para eliminar las últimas trazas de jabón y se centrifuga nuevamente. Finalmente, el material refinado se seca en un secador de vacío para eliminar el agua residual (Dorsa, 2004; Lawson, 1994).

C. Esterificación ácida de los ácidos grasos libres (AGL) y transesterificación alcalina

La esterificación ácida es otra manera de «deshacerse» de los ácidos grasos libres en el aceite, pero permite, al contrario de la neutralización, reaprovecharlos para producir biodiésel también a partir de ellos (Meher, 2006). Esta reacción funciona de la manera siguiente:



Al aceite caliente se agrega metanol en cantidad adecuada para reaccionar con los AGL, utilizando ácido sulfúrico como catalizador. Luego de la reacción, se separa el agua mediante decantación o centrifugación, y lo que queda es una mezcla de aceite (triglicéridos) y biodiesel con menos de 1% de ácidos grasos libres.

Una de las dificultades de este proceso es la presencia de agua. La acumulación de agua que se va produciendo durante la esterificación puede llegar a detener la reacción antes de que sea completa. Para solucionar este problema es necesario trabajar en dos o más etapas para ir separando el agua antes de continuar la esterificación (Van Germe, 2005).

Otra desventaja es la gran cantidad de metanol necesaria: mientras que con la catálisis alcalina se requiere una cantidad de 6 moles de alcohol por cada mol de triglicérido (razón molar de 6:1), algunos autores han encontrado que con la catálisis ácida se necesita entre 30:1 y 50:1 (Zhang *et al.*, 2003).

Finalmente, otro problema es el uso de ácido sulfúrico: este insumo, por su alta corrosividad, requiere de tanques con materiales costosos (acero inoxidable de muy alta calidad), y además su utilización produce efluentes ácidos contaminantes (Wang *et al.*, 2006). Es por esto que la esterificación ácida se justifica sólo si las materias primas a utilizar tienen un contenido de AGL realmente alto. Wang *et al.* (2006) propusieron el uso de sulfato férrico como catalizador para la esterificación ácida. En sus experimentos, encontraron que este catalizador es ventajoso porque es sólido (catalizador heterogéneo), de manera que es fácilmente separable de los productos, es reutilizable y no contamina los efluentes (por la misma razón).

También es más eficiente que el ácido sulfúrico: Con una cantidad de catalizador de 2% en peso, una razón molar de 10:1 de metanol a triglicéridos (mucho menor a la necesaria cuando se trabaja con ácido sulfúrico) y una temperatura de reacción de 95°C, se alcanzó una conversión de 97% de los ácidos grasos libres de un aceite usado en biodiesel. Además, el sulfato férrico no requiere de equipamiento tan costoso porque

es menos corrosivo.

Para la esterificación ácida y transesterificación alcalina se realiza el siguiente proceso:

D. Filtrado y secado

Si la materia prima es algún aceite crudo, o aceite usado previamente en frituras, es posible que contenga humedad e impurezas sólidas. Para el caso de la humedad, es necesario secar el aceite mediante evaporación al vacío o mediante el uso de sales absorbentes.

Para separar las impurezas sólidas, basta un proceso de filtrado en caliente antes de la transesterificación.

E. Winterización

La winterización es un método para la eliminación de ciertos constituyentes (ceras, o triglicéridos mismos), que, aunque solubles a temperaturas media y alta, cristalizan y enturbian el aceite en climas fríos.

El proceso consiste en enfriar el aceite por cierto periodo y filtrarlo en un filtro-prensa o con filtros de baja presión a temperaturas que estén un par de grados por debajo de aquellas a las que el aceite se enturbia. El aceite se enfría con agua fría o salmuera, o enfriando el aire del edificio donde esté almacenado.

El enfriamiento debe ser muy lento para lograr que se formen cristales grandes y facilitar la filtración (Andersen, 1962). En la producción de biodiesel, este proceso puede ser aplicado al aceite, o directamente al mismo biocombustible.

3.2.4.2. Pos tratamiento del biodiesel

Después de la separación de fases, cada una debe lavarse para purificarse y alcanzar la mayor concentración de metilésteres. En la industria el metanol es recuperado por calentamiento de la fase éster. Las trazas de glicerol y catalizador pueden ser eliminadas por lavados con agua acidulada o agua pura hasta neutralizar.

Los metil-ésteres se someten a temperatura y vacío para evaporar el metanol y recuperarlo, y luego son llevados a un proceso de lavado para separar todas las

impurezas. El lavado se realiza con agua acidulada (con ácido fosfórico o ácido cítrico) que se mezcla con el biodiesel. El ácido neutraliza el catalizador residual presente y separa los jabones que se puedan haber formado en la reacción.

Los jabones se convierten en ácidos grasos libres (que se quedan en el biodiesel) y en sales solubles en agua (Van Gerpen, 2005). Así, los restos de catalizador, jabón, sales, glicerina y metanol se quedan en el agua de lavado. Este lavado se realiza al menos dos veces con agua nueva cada vez, hasta que se haya eliminado todo el residual de catalizador alcalino y el efluente tenga un color claro.

Finalmente, los metil-ésteres lavados se secan (con calor y vacío) para separar toda el agua restante y se filtran. El producto de este proceso es el biodiesel terminado.

3.2.4.3. Postratamiento de la glicerina

El glicerol crudo, que en realidad contiene solamente un 50% de glicerol, es un subproducto de poco valor en esta forma (ya que contiene gran cantidad de jabones, catalizador alcalino y metanol), y además peligroso debido al metanol. Para poder aprovecharlo, debe ser purificado de la siguiente manera:

- Primero es llevado a un proceso de acidulación (se añade ácido sulfúrico o fosfórico) para separar 3 fases: el glicerol propiamente dicho (con metanol aún disuelto), ácidos grasos libres (provenientes del aceite), y una fase sólida que consiste en sales formadas entre el catalizador alcalino y el ácido agregado en esta etapa. Si se utiliza hidróxido de potasio como catalizador de la transesterificación y ácido fosfórico para la neutralización del glicerol, la sal que se forma es fosfato de potasio, producto que puede ser utilizado como fertilizante (Van Gerpen, 2005).
- El glicerol resultante sólo necesita ser separado del metanol (mediante evaporación temperatura y vacío – y condensación del metanol) y así tendrá una pureza de aproximadamente 85% (Van Gerpen, 2005). En esta forma ya está listo para su venta a otros procesos industriales que lo refinan aún más, o que requieran este insumo en este estado.
- El metanol recuperado tanto de los metil-ésteres como del glicerol suele contener agua derivada del proceso y por lo tanto debe ser rectificado, es decir, destilado para separarlo del agua antes de volver a utilizarlo en el proceso. Si se está trabajando con etanol, este paso es más

complejo ya que el etanol forma mezclas estables con el agua, y se requiere además de la destilación un filtro molecular para separarlos completamente (Van Gerpen, 2005).

3.2.5. Procesos de Transesterificación

3.2.5.1. Proceso de Transesterificación en discontinuo

Es el método más simple para la producción de biodiesel donde se han reportado ratios 4:1 (alcohol: triglicérido). Se trata de reactores con agitación, donde el reactor puede estar sellado o equipado con un condensador de reflujo.

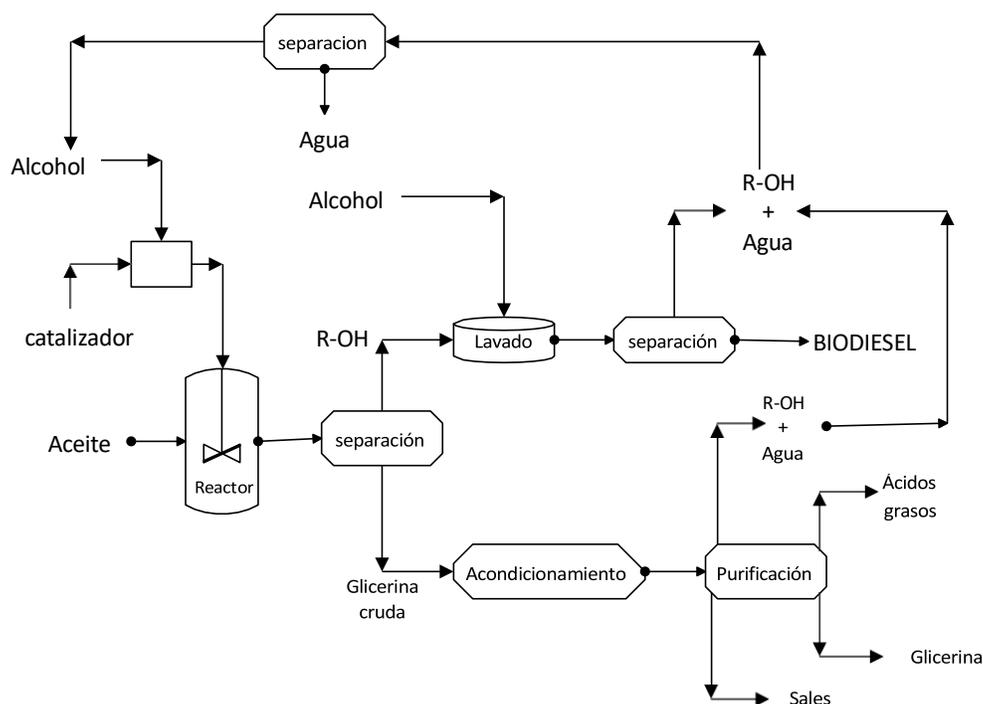
Las condiciones de operación más habituales son a temperaturas de 65°C, aunque rangos de temperaturas desde 25°C a 85°C también han sido publicadas. El catalizador más común es el NaOH, aunque también se utiliza el KOH, en rangos del 0,3% al 1,5% (dependiendo que el catalizador utilizado sea KOH o NaOH).

Es necesaria una agitación rápida para una correcta mezcla en el reactor del aceite, el catalizador y el alcohol. Hacia el fin de la reacción, la agitación debe ser menor para permitir al glicerol separarse de la fase éster. Se han publicado en la bibliografía resultados entre el 85% y el 94%.

En la transesterificación, cuando se utilizan catalizadores ácidos se requiere temperaturas elevadas y tiempos largos de reacción. Algunas plantas en operación utilizan reacciones en dos etapas, con la eliminación del glicerol entre ellas, para aumentar el rendimiento final hasta porcentajes superiores al 95%.

Temperaturas mayores y ratios superiores de alcohol-aceite pueden asimismo aumentar el rendimiento de la reacción. El tiempo de reacción suele ser entre 20 minutos y una hora. En el gráfico se reproduce un diagrama de bloques de un proceso de transesterificación en discontinuo.

Figura 3- 8: Proceso de transesterificación en proceso discontinuo



Fuente: Garcia E, Alfaro Y & Ruiz M, 2012. *Estudio de prefactibilidad para la generación de biodiesel a partir de aceite quemado en el restaurante Tip Top*, pág. 97.

<https://yesseralfaro.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/04/tesis-biodiesel-industrial.pdf>

3.2.5.2. Proceso de Transesterificación en continuo

Una variación del proceso discontinuo es la utilización de reactores continuos del tipo tanque agitado, los llamados CSTR del inglés, Continuous Stirred Tank Reactor. Este tipo de reactores puede ser variado en volumen para permitir mayores tiempos de residencia y lograr aumentar los resultados de la reacción. Así, tras la decantación de glicerol en el decantador la reacción en un segundo CSTR es mucho más rápida, con un porcentaje del 98% de producto de reacción.

Un elemento esencial en el diseño de los reactores CSTR es asegurarse que la mezcla se realiza convenientemente para que la composición en el reactor sea prácticamente constante. Esto tiene el efecto de aumentar la dispersión del glicerol en la fase éster.

El resultado es que el tiempo requerido para la separación de fases se incrementa.

Existen diversos procesos que utilizan la mezcla intensa para favorecer la reacción de esterificación.

El reactor que se utiliza en este caso es de tipo tubular. La mezcla de reacción se mueve longitudinalmente por este tipo de reactores, con poca mezcla en la dirección axial. Este tipo de reactor de flujo pistón, Plug Flow Reactor (PFR), se comporta como si fueran pequeños reactores CSTR en serie.

El resultado es un sistema en continuo que requiere tiempos de residencia menores (del orden de 6 a 10 minutos) con el consiguiente ahorro, al ser los reactores menores para la realización de la reacción. Este tipo de reactor puede operar a elevada temperatura y presión para aumentar el porcentaje de conversión.

En la figura 3-11 se presenta un diagrama de bloques de un proceso de transesterificación mediante reactores de flujo pistón. En este proceso, se introducen los triglicéridos con el alcohol y el catalizador y se somete a diferentes operaciones (se utilizan dos reactores) para dar lugar al éster y la glicerina.

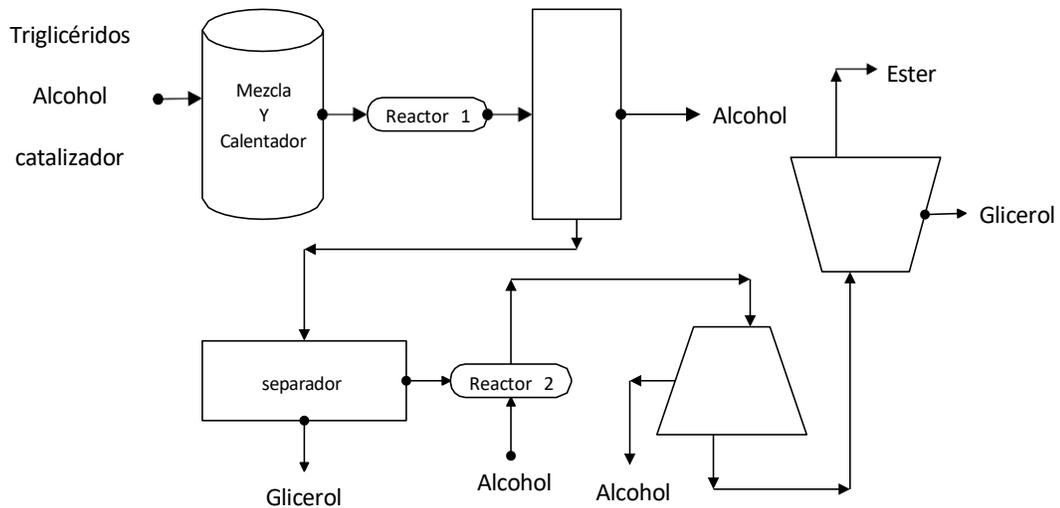
Dentro de la catálisis heterogénea los catalizadores básicos se desactivan fácilmente por la presencia de ácidos grasos libres (FFA) y de agua que favorece la formación de los mismos.

Para tratar alimentaciones con cierto grado de acidez, se prefiere la esterificación de los ácidos grasos libres con super ácidos que a su vez presenten una elevada velocidad de reacción de transesterificación, lo que implica que se requiera de dos reactores con una fase intermedia de eliminación de agua.

De este modo, alimentaciones con hasta un 30% en FFA se pueden esterificar con metanol, reduciendo la presencia de FFA por debajo del 1%.

Esta etapa previa de esterificación se puede llevar a cabo con alcoholes superiores o glicerina que resulta atractiva en la producción de biodiesel puesto que es un subproducto del proceso.

Figura 3- 9: Proceso de obtención de biodiesel mediante reactores de flujo pistón



Fuente: García E, Alfaro Y & Ruiz M, (2012). *Estudio de prefactibilidad para la generación de biodiesel a partir de aceite quemado en el restaurante Tip Top*.

<https://yesseralfaro.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/04/tesis-biodiesel-industrial.pdf>

3.3. REACTORES Y FUNDAMENTOS DE TEORÍA DE LA CINÉTICA QUÍMICA

En el diseño de reactores es importante tener conocimientos, no solamente básicos de la reacción que se efectúa, debido a que ésta información no es suficiente, para ello es necesario, conocer la cinética química que rige la reacción química, las fases involucradas, temperaturas, etc. y de esta forma, tomar la decisión del tipo de reactor más adecuado a utilizar.

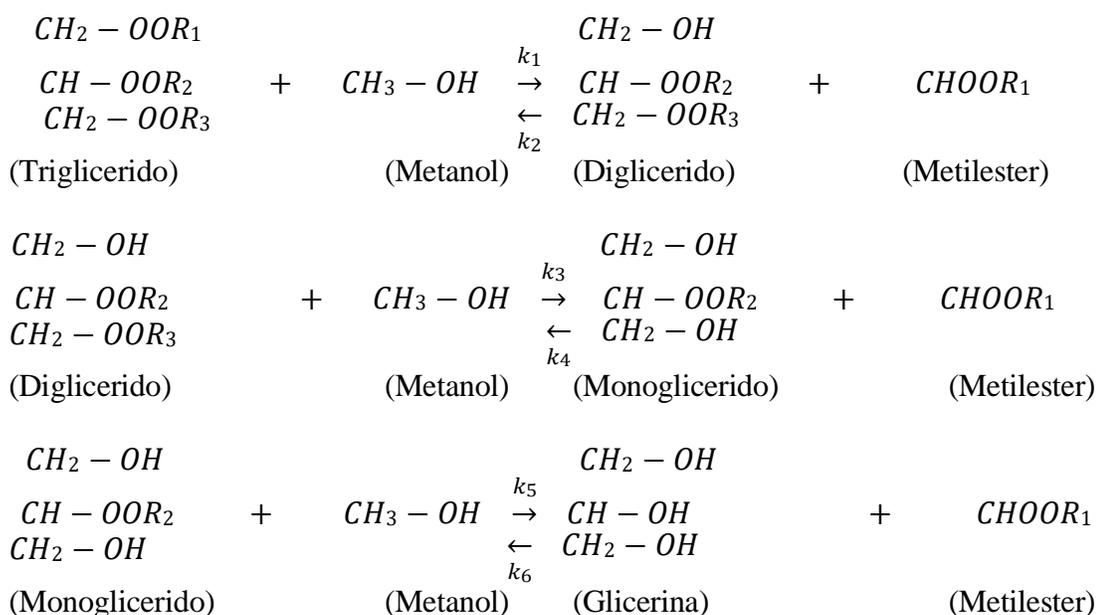
3.3.1. Cinética Química. - Cinética de Transesterificación

En la reacción de transesterificación la molécula de triglicérido se divide en tres moléculas de metilester y una de glicerina. El hidróxido, actuando como un catalizador, rompe los enlaces que unen a los ácidos grasos con la glicerina, la glicerina se separa y las cadenas de ácidos grasos se unen al metanol.

En esta reacción hay tres partes (Fig. 6.1). Primero una cadena de ácido graso se separa del triglicérido (TG) y se une al metanol (A) formando una molécula de metilester (ME), quedando un diglicérido (Dg).

Después se separa de la glicerina otra cadena de ácido graso, que se une al metanol formando la segunda molécula de metilester, dejando un monoglicérido (Mg).

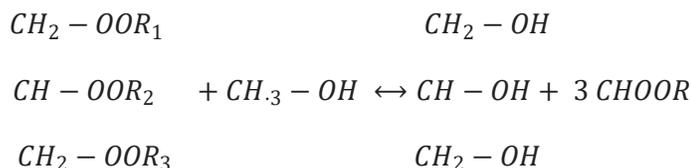
Figura 3- 10: Mecanismo de reacción de transesterificación.



Fuente: Díaz García, A. A., & Sotolongo Pérez, J. A. (2007). *Estudio comparativo de la solución del sistema ecuaciones diferenciales de la reacción de transesterificación mediante los métodos de discretización explícito y totalmente implícito*. Tecnología Química, XXVII(3)

Finalmente, el monoglicérido se convierte en metilester sustituyendo la glicerina por metanol. Cuando termina esta última etapa se completa la reacción.

REACCION COMPLETA:



(Triglicérido) (Metanol) (Glicerina) (Metilester)

Al principio la reacción es muy rápida, pero después se torna lenta. Primero la mitad de los triglicéridos se convierte en diglicéridos (después en monoglicéridos y finalmente en biodiésel), posteriormente se convierte la mitad de lo que queda, y después otra vez la mitad de lo que queda, hasta que queda una cantidad ínfima.

La velocidad de la reacción disminuye progresivamente y nunca se completa del todo. Al final la cantidad de glicéridos es insignificante y cumple con los límites fijados por los estándares de calidad. Las *ECUACIONES PARA LA VELOCIDAD DE REACCIÓN DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN*.

$$\frac{d[TG]}{dt} = -k_1[TG][A] + k_2[DG][E] \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{d[DG]}{dt} = -k_3[DG][A] + k_4[MG][E] + k_1[TG][A] - k_2[DG][E] \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{d[MG]}{dt} = -k_5[GL][E] + k_6[GL][E] + k_3[DG][A] - k_4[MG][E] \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{d[GL]}{dt} = k_5[MG][A] - k_6[GL][E] \dots \dots \dots (4)$$

$$\frac{d[E]}{dt} = k_1[TG][A] - k_2[DG][E] + k_3[DG][A] - k_4[MG][E] + k_5[MG][A] - k_6[GL][E], \dots \dots \dots (5)$$

$$\frac{d[A]}{dt} = -k_1[TG][A] + k_2[DG][E] - k_3[DG][A] + k_4[MG][E] - k_5[MG][A] + k_6[GL][E] \dots \dots \dots (6)$$

Fuente: Díaz García, A. A., & Sotolongo Pérez, J. A. (2007). *Estudio comparativo de la solución del sistema ecuaciones diferenciales de la reacción de transesterificación mediante los métodos de discretización explícito y totalmente implícito*. Tecnología Química, XXVII (3).

Para la reacción completa la ecuación de velocidad se describe:

$\frac{d[TG]}{dt} = k_1[TG][A] + k_6[GL][E] + k_4[MG][E] + k_2[DG][E]$
--

Donde las expresiones entre corchetes representan las concentraciones molares de los componentes siguientes:

[TG]: Triglicéridos.

[DG]: Diglicéridos.

[MG]: Monoglicéridos.

[GL]: Glicerina.

[A]: Alcohol (bajo peso molecular)

[E]: Etiléster o metiléster

k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 y k_6 : Constantes de la reacción en el sentido que se indica en la figura 3.10.

3.4. GENERALIDADES EN EL DISEÑO DE REACTORES

El reactor químico es la pieza del equipo en la cual toma lugar la conversión de materia prima en un producto deseado, volviéndose de esta forma el componente irremplazable de cualquier proceso químico. Se debe seleccionar la configuración y el modo de operación de un reactor que permita la obtención de máximos beneficios en cuanto a la coacción de las compras de materias primas y los costos del producto terminado, entre los costos de capital y de operación, condiciones de seguridad y requerimientos de control ambiental (Levenspiel, 1995).

Los pasos básicos para el diseño técnico de un reactor químico son (Torres, 2005):

- Hacer decisiones preliminares en cuanto al método de operación y al tipo de reactor. Este paso es imposible si no se llevan a cabo cálculos de funcionamientos para diversos tipos de reactores.
- Evaluar el funcionamiento del reactor.

Para el diseño del reactor adecuado, deberán conocerse los siguientes factores:

- Tipo de reacción
- Rango de temperaturas
- Velocidad de producción
- Transferencia de calor
- Fases involucradas
- Presión de operación

- Corrosividad
- Factor economía
- Grado de seguridad requerido

3.4.1. Tipos de Reactores

Se ha desarrollado una clasificación completa de los tipos de reactores que se utilizan en el desarrollo de las reacciones químicas, en la tabla III-11, se plantean los diferentes tipos considerando la operación que se lleva a cabo, la geometría del reactor, la temperatura de operación y el número de fases que se encuentran en contacto en el transcurso de la reacción química.

3.5. SELECCIÓN DEL PROCESO A EMPLEAR

Para seleccionar la materia prima más óptima para el proceso de obtención de biodiesel lo podemos calificar en el siguiente cuadro comparativo

TABLA III- 9: Cuadro comparativo entre las distintas maneras de obtener aceite para la elaboración de Biodiesel.

Materia Prima	Rendimiento	Temperatura	Ventaja	Desventaja
Palma Aceitera	50%	17-25 °C	Su alta demanda (segundo aceite vegetal demasiado en el mundo después del de soya) hace que exista una oferta amplia en el mercado.	Tarda mucho en ser productiva y las condiciones para su cultivo son bastante específicas (>56% de humedad 1800 a 2200 mm de agua anuales).
Piñón	45%	10-36 °C	Toxico para el consumo humano, por lo que toda la producción de este será usada para producción de biocombustibles.	Reemplaza terrenos de cultivos de otras plantas que si son de consumo humano, generando conflictos sociales.
Girasol	40% - 55%	15-30 °C	Bastante común y de alta oferta en el mercado.	Se destina a consumo humano por lo que su uso para producción de combustibles puede tener impactos socioeconómicos (alza de precios)
Soya	23%	15-30 °C	Alta demanda que puede alzar los costos.	Se destina a consumo humano por lo que su uso para producción de combustibles puede tener impactos socioeconómicos (alza de precios)

Aceite usado	86,4 %	Aceite ya fabricado	Es un desecho común aprovechable.	Para que el biodiesel obtenido sea de calidad se requiere de pretratamiento.
--------------	--------	---------------------	-----------------------------------	--

Fuente: Campos Uriarte, C. M., Delgado Saavedra, H. A. G., Esquivel Chávez, J. D., Samamé Salazar, J. L. J., & Sirlupú Zapata, J. D. (2018). *Diseño de la línea de producción para la elaboración de biodiesel a partir de aceite residual recolectado de la industria chiflera piurana*. Pág. 19, <https://es.scribd.com/document/486113891/PYT-Informe-Final-Proyecto-Biodiesel-pdf>

Como se refiere el anterior cuadro comparativo podemos observar que materia prima más óptima es aceite residual, y el método de obtención es la más conocida y empleada. La transesterificación de ácidos grasos.

Para obtener una selección óptima de catalizador lo veremos en el siguiente cuadro

TIPO DE PROCESO	VENTAJA	DESVENTAJA
TRANSESTERIFICACIÓN POR CATÁLISIS ALCALINA	En la transesterificación del aceite usado de cocina es la técnica más usada	Procesos de separación son considerablemente costosos debido a que tienden a formar emulsiones y requieren del uso de 1 a 6 % en peso de catalizador
	Los catalizadores básicos homogéneos proporcionan velocidades de reacción mayores que los catalizadores heterogéneos.	
	utilización de la mayoría de las moléculas del catalizador, alcanzándose un rendimiento de hasta el 98%	El triglicérido reacciona con el catalizador básico, consumiendo éste, en presencia de agua dando lugar a la formación de jabones, Es indispensable que su humedad sea mínima
	son menos corrosivos para los equipos industriales y requieren pequeños volúmenes de alcohol.	
TRANSESTERIFICACIÓN CON CATÁLISIS HOMOGÉNEA ÁCIDA	Cuando la materia prima es un aceite con alto contenido de ácidos grasos libres (AGL), la esterificación	Este proceso es unas 4000 veces más lento que la catálisis básica.
		Debe tener dos procesos esterificación y

	<p>ácida está recomendada como un primer proceso</p>	<p>transesterificación alcalina (con NaOH o KOH como catalizadores) para convertir los triglicéridos subsistentes.</p>
	<p>Los catalizadores ácidos también pueden ser utilizados directamente para la transesterificación</p>	<p>Requiere de un exceso aún mayor de alcohol, lo cual la torna como poco económica</p>
<p>TRANSESTERIFICACIÓN CATALIZADA HETEROGÉNEA</p>	<p>Que no se encuentran disueltos en el alcohol o en el aceite, sino que son sólidos y son fácilmente recuperables por decantación o filtración al final de la reacción</p>	<p>Su elevado costo debido a la necesidad de elevadas condiciones de temperatura y presión</p>
	<p>Esta catálisis sólo requiere de la evaporación del metanol sin producción de efluentes residuales, además también se obtiene un glicerol puro sin contaminantes.</p>	<p>Su elevado costo debido a la necesidad de grandes volúmenes de alcohol, no permiten todavía una aplicación comercial en la producción de biodiesel</p>
<p>TRANESTERIFICACION CON CATALIZADORES ENZIMÁTICOS</p>	<p>Son capaces de catalizar la transesterificación de los triglicéridos superando los problemas mencionados arriba. Especialmente, el glicerol puede ser removido fácilmente, los ácidos grasos libres pueden ser convertidos totalmente en ésteres, y la presencia de agua no es problemática.</p>	<p>Los costos de producción de las lipasas aún son mucho más caros que los de los catalizadores alcalinos</p>

(a) Método para pretratamiento.-

Para el método de pre tratamiento se optó por filtración, este método tiene un rendimiento del 89-90% ; frente al tratamiento usando el proceso de winterización el cual tiene un rendimiento del 70-71%, el método de pre tratamiento es necesario porque su alta acidez de los aceites vegetales

usados. (Universidad Mayor de San Andrés; Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos (I.I.D.E.P.R.O.Q); “Proyecto: Adecuación Tecnológica de la Obtención de Biodiésel” La Paz- Bolivia, 2007)

(b) Método de reacción.-

Después del pretratamiento del aceite, se realiza el método de reacción, la cual se basa en la transesterificación alcalina; este método se utiliza en aceites usados pre tratados requiere de un aceite con bajo contenido de ácidos grasos libres, agua y otras impurezas son para aceites pre tratados con acidez menor al 2%.

La transesterificación alcalina es el proceso más simple y más utilizado para fabricar biodiesel. Además, requiere de pasos posteriores de postratamiento del biodiesel para reducir su contenido de impurezas procedentes del proceso, principalmente restos de catalizador, y de postratamiento de la glicerina para purificarla parcialmente e incrementar su valor de mercado.

(c) Rendimiento del proceso. -

El rendimiento es el más óptimo de los demás y su costo es reducido; En el proyecto de Adecuación Tecnológica de la Obtención de Biodiesel” La Paz- Bolivia, 2007, se obtiene un biodiesel de alta calidad y vida útil.

Rendimiento= 88,6 %

TABLA III- 10: Resultados de Características Fisicoquímicas del Biodiesel Obtenido

Propiedad	Unidades	Norma	Limites	Biodiesel con Aceite Usado
Densidad 15°C	kg/m ³	EN-14214	860-900	880
Viscosidad 40°C	mm ² /seg.	D-445	1,9-6	4,9-5,7
		EN-14214	3,5-5	
Cenizas sulfatada	% peso	D-874	0,02 máx.	0,02-0,025
		EN-14214	0,02 máx.	
Índice de acidez	mg KOH	EN-14104	0,5 máx.	0,48-0,52
	/g			
Punto de enturbiamiento	°C	D-2500	A informar	1,8-2,2
Índice de yodo		NB-	120 máx.	115-120

Fuente: Universidad Mayor de San Andrés. Instituto de investigación y desarrollo de procesos químicos IIDEPROQ. “Adecuación tecnológica de la obtención de biodiesel.” La Paz (Bolivia). 2007 [en línea] [Pág. 138]. Disponible en http://www.revistavirtualpro.com/files/TIE02_200707.pdf

Todas las pruebas se realizaron por triplicado (EN Norma Europea; D Normas Americanas ASTM 6751)

3.6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL BIODIESEL

El proceso seleccionado tiene el siguiente procedimiento:

- Filtrado del aceite usado recolectado
- Desgomado del aceite filtrado y posterior separación de fases
- Evaporación del agua contenido en el aceite desgomado
- Reacción de transesterificación y separación de fases

- Recuperación del metanol de la fase biodiesel por evaporación
- Recuperación del metanol de la fase glicerina por evaporación
- Lavado del biodiesel y separación de fases en una serie de 3 etapas
- Eliminación del agua del biodiesel por evaporación

Tabla III- 11: Descripción Del Proceso Por Etapas

Nombre del proceso	Línea de Proceso o alimentación	Equipos e Instrumentos	Descripción
Almacenamiento y recepción de materia prima		E-1	Tanque de almacenamiento del aceite vegetal usado
		V-1	Válvula de paso del aceite vegetal usado
Pretratamiento del aceite usado	P-1		Línea de alimentación de aceite usado hacia el filtro
Filtración		E-2	Filtro: para impurezas del aceite almacenado
Filtración	P-2		Aceite usado filtrado; limpio de residuos sólidos
Desgomado		E-3	Tanque con agitación: con agua para desgomado del aceite.
Desgomado		V-2	Válvula de paso: para añadir agua al proceso de desgomado
Desgomado	P-3		Agua para tratamiento del aceite; para el desgomado del aceite
Separación de fases		E-4	Tanque de sedimentación: para separar las gomas y el aceite tratado
Separación de fases	P-4		Aceite tratado libre de gomas
Separación de fases	Agua + gomas		Agua de tratamiento más gomas del aceite usado
Evaporación		E-5	Columna vertical de pared mojada: para evaporar el agua retenida en el aceite
Evaporación	P-5		Salida del vapor de agua

Evaporación	P-6		Aceite tratado seco
		E-6	Bomba múltiple etapa de alimentación del aceite usado seco para el reactor de esterificación
Reacción de transesterificación		E-7	Recipiente de reacción: tanque diseñado específicamente para la reacción de transesterificación
Reacción de transesterificación	P-7		Línea de alimentación de metanol
Almacenamiento del metanol		E-8	Tanque de almacenamiento del metanol
Mezcla de NaOH y metanol		E-9	Tolva de alimentación de NaOH
		E-10	Dosificador para NaOH
		E-11	Mezclador estático
Mezcla de NaOH y metanol	P-8		Línea de alimentación de metanol hacia el mezclador estático.
Mezcla de NaOH y metanol	P-9		Salida del NaOH de la tolva de alimentación
Mezcla de NaOH y metanol	P-10		Salida de NaOH del dosificador
Reacción de transesterificación	P-11		Línea de alimentación de la mezcla de metanol y NaOH hacia el reactor de transesterificación
Reacción de transesterificación	P-12		Metanol evaporado del proceso de reacción de transesterificación
Reacción de transesterificación	P-13		Biodiesel bruto más formación de glicerina
Separación de fases		E-12	Tanque de sedimentación: para

			separar el biodiesel bruto y la glicerina formada
Separación de fases	P-14		Glicerina bruta
Recuperación del metanol		E-13	Columna vertical de pared mojada: para evaporar el metanol retenido en la glicerina
Recuperación del metanol	P-15		Metanol recuperado para recirculación
Recuperación del metanol	P-16		Glicerina sin metanol
Almacenamiento de la glicerina		E-14	Bomba para la glicerina sin metanol
Almacenamiento de la glicerina		E-15	Tanque de almacenamiento de la glicerina
Separación de fases	P-17		Biodiesel bruto
Recuperación del metanol		E-16	Columna vertical de pared mojada: para evaporar el metanol retenido en el biodiesel
Recuperación del metanol	P-15		Metanol recuperado para proceso de recirculación
Recuperación del metanol	P-18		Línea de salida de biodiesel listo para procesos de lavados
Lavado		E-17	Tanque de lavado con agua
Lavado		V-4	Válvula de paso: para añadir agua a procesos de lavados
Lavado	P-19		Agua tratada para proceder al lavado
Lavado	P-20		Salida del biodiesel después del primer lavado
Decantado del primer lavado	L-1		Salida de agua del primer lavado
Lavado		E-18	Tanque de lavado con agua

Decantado del segundo lavado	L-2		Salida de agua del segundo lavado
Lavado	P-21		Salida del biodiesel después del segundo lavado
Lavado		E-19	Tanque de lavado con agua
Decantado del tercer lavado	L-3		Salida de agua del tercer lavado
Lavado	P-22		Salida del biodiesel después del tercer lavado
Evaporación		E-20	Columna vertical de pared mojada: para evaporar el agua retenida durante los lavados en el biodiesel
Evaporación	P-23		Línea de Salida del biodiesel puro y seco
Almacenamiento del biodiesel		E-21	Bomba para almacenar el biodiesel puro y seco al tanque
Almacenamiento del biodiesel		E-22	Tanque de almacenamiento del biodiesel puro y seco.

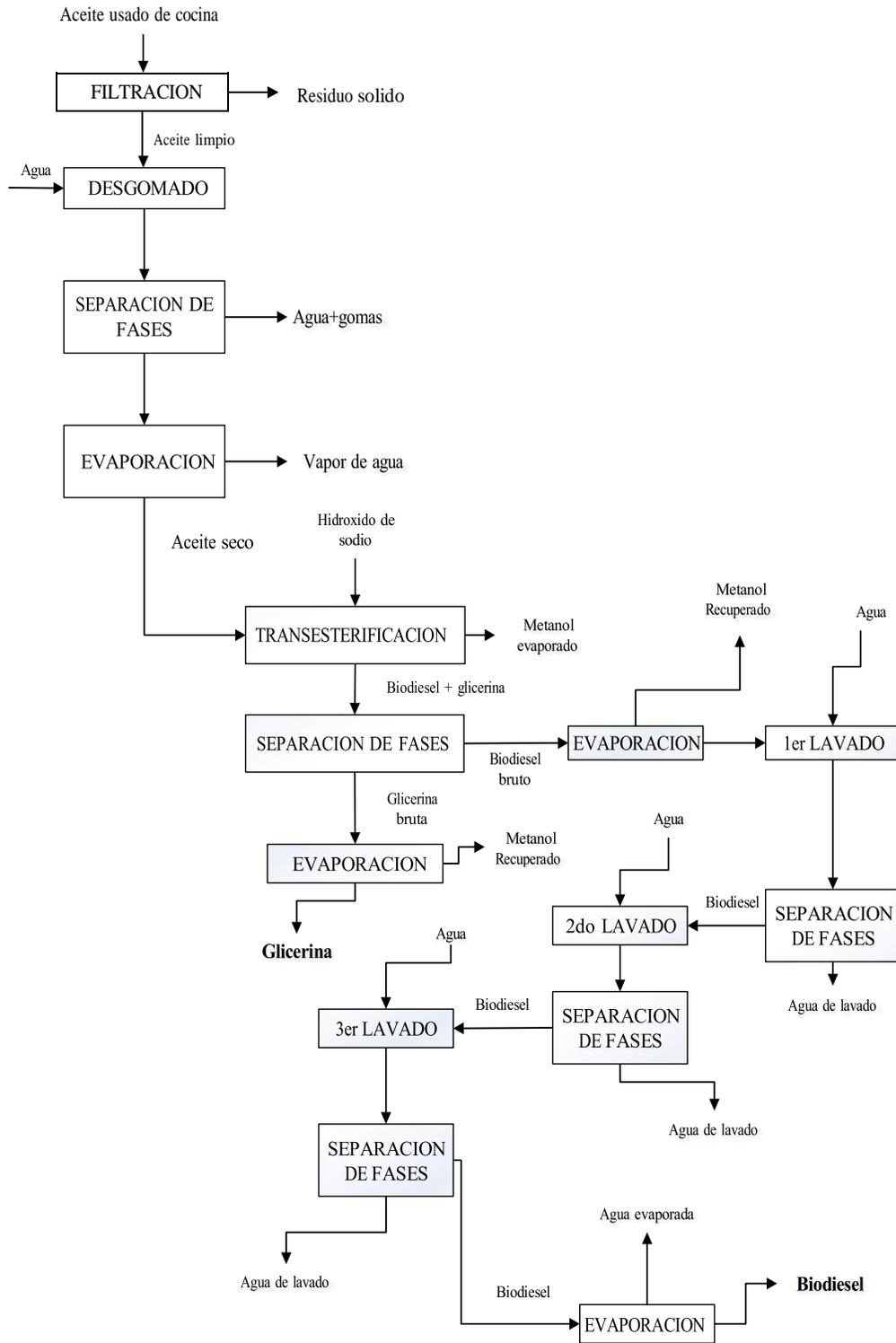
Fuente: Elaboración propia de la figura 3-18, 2022

Para la obtención del biodiesel con el aceite usado se realizarán los siguientes procesos que se detallan a continuación.

3.6.1. Recepción del Aceite vegetal usado

El aceite de usado llegará a las instalaciones de la planta en camiones, las cuales son encargadas de recoger la materia prima.

Figura 3- 12: Diagrama de bloques Obtención de Biodiesel



3.6.2. Pre tratamiento del aceite usado

Se debe realizar debido a que presenta muchas impurezas como partículas quemadas, restos de comida, etc. el proceso que se realizara es de filtración proceso.

3.6.2.1. Filtración

Esta operación es necesaria, porque la materia prima contiene sólidos suspendidos, también a la elevada viscosidad del aceite, es necesario efectuar esta operación a 60°C de temperatura. Se determinó que el aceite usado contiene como promedio un 5% de sólidos suspendidos. por las pruebas que se realizó en la tesis de “Universidad Mayor de San Andrés. Instituto de investigación y desarrollo de procesos químicos IIDEPROQ. “*Adecuación tecnológica de la obtención de biodiesel.*” La Paz (Bolivia). 2007, de la cual obtuvieron estos datos al realizar pruebas experimentales.

3.6.2.2. Desgomado

Esta operación tiene como objetivo central eliminar sustancias coagulables y separables por hidratación, que son eliminadas en forma de masa gomosa.

Estas gomas tales como proteínas, minerales, fosfatados, etc. son las correspondientes a la fracción no glicérica de los aceites. Es ésta la razón por la que se emplea agua para el desgomado, efectuándose el desgomado en un tanque con agitación empleando agua en una cantidad 20 % del volumen inicial de aceite, mientras que la separación de fases se lleva a cabo en un tanque decantador, aclarando que la operación se realiza a temperatura ambiente. En este proceso el residuo acuoso arrastra aproximadamente el 20 % de gomas junto con el agua agregada. Asimismo, el tiempo requerido para el desgomado es de 30 minutos, como 30 min, el tiempo para la separación de fases.

3.6.2.3. Evaporación

El aceite al estar en contacto con agua, capta en su seno pequeñas burbujas de agua, es necesario la eliminación de esta agua contenida, ya que es perjudicial para la siguiente operación, la eliminación del agua se efectúa por calentamiento del aceite en una columna vertical de pared mojada a una temperatura de 95°C, temperatura a la cual el agua se evapora en la ciudad de Tarija. Se obtiene un 99,5% de aceite seco que entra al evaporador.

3.6.3. Reacción de transesterificación y separación de fases

(a) Transesterificación. -

Usando como catalizador el NaOH, la cual reacciona el resto del aceite (libre de ácidos grasos) con el metanol formando también metilésteres. De esta manera se evita que los ácidos grasos libres formen jabones con el hidróxido de sodio.

El porcentaje de rendimiento en este método es del 95-98%

El aceite seco reacciona con el metóxido de sodio para dar metil ésteres (biodiesel) y glicerina como subproducto. Los productos que abandonan el reactor ingresan a un decantador para separar el biodiesel de la glicerina.

El metóxido de sodio se prepara con 120 ml de metanol por cada litro de aceite/grasas (12% en volumen) y 5,6 gramos de NaOH por cada litro de aceite.

Antes de iniciar la segunda etapa, separar la glicerina y el agua formada de la mezcla y dejar solo el aceite y el biodiesel producido en otro recipiente, dar un calentamiento previo.

Por la parte inferior del decantador se extrae la glicerina, dada su densidad mayor. Asimismo, es necesario aclarar que durante el tiempo que dura la reacción (alrededor de 1 hora), existen pérdidas de metanol por la evaporación de ésta sustancia. No debemos olvidar que se trabaja a temperaturas por encima del punto de ebullición del metanol. No obstante que la tapa del reactor es continuamente refrigerada, el vapor de metanol escapa por el espacio que existe entre la tapa y el vástago del agitador. Asimismo, las pérdidas se deben también a la manipulación del producto caliente.

El biodiesel y glicerina formados contienen metanol e hidróxido de sodio disuelto, como también jabones que se forman durante el proceso, sustancias que deben ser eliminadas. En la siguiente operación se eliminan metanol tanto del biodiesel como de la glicerina.

(b) Recuperación de metanol

Seguidamente, se procede a la recuperación de metanol de ambas fases (biodiesel y glicerina). Esta operación se realiza en un evaporador que consta de una cámara de

evaporación y un condensador.

Esta evaporación se efectúa a una temperatura de 70°C, temperatura a la cual el metanol se evapora con facilidad. El vapor de metanol seguidamente es condensado para su recuperación.

La glicerina, libre de metanol, debe pasar a un proceso de purificación, situación que no se analiza en el presente proyecto. En cambio, como parte principal del proyecto, se procede a continuación a purificar el biodiesel libre de metanol.

Separando el 98% de biodiesel de la mezcla biodiesel y metanol. Y separa 95% de la glicerina de la mezcla de glicerina bruta.

(c) Lavado en 3 etapas

A objeto de eliminar hidróxido de sodio y jabones formados en la reacción, ambos disueltos en el biodiesel, se procede a lavar con agua el producto en 3 etapas, como se detalla en el diagrama, aclarando que después de cada lavado es necesario separar las fases por decantación. Cada lavado emplea un tercio de agua de la cantidad de biodiesel tratado, efectuándose estas operaciones a temperatura ambiente. La operación de lavado, se efectúa en un tanque en la que se hace burbujear aire para permitir el contacto del biodiesel y agua, mientras que la separación de fases se la efectúa en un tanque decantador. Se obtiene arrastrando 10% de impurezas en el agua de lavado del 1er lavado, el 5% en el segundo y el 2% en el tercero donde ya no se observa muchas impurezas.

(d) Evaporación

Dado que, durante el lavado, el biodiesel entra en contacto con agua, se hace necesario la eliminación de esta sustancia por evaporación, obteniéndose consiguientemente el producto deseado. La operación se efectúa en una columna vertical de pared mojada.

El rendimiento es el 99,25% con respecto al aceite seco según bibliografía citada al inicio.

3.7. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

Para realizar el balance se utiliza el método de transesterificación alcalina, y basado en el método que se experimentó en un proyecto piloto realizado en la ciudad de La Paz. (Universidad Mayor de San Andrés. Instituto de investigación y desarrollo de procesos químicos IIDEPROQ. “Adecuación tecnológica de la obtención de biodiesel.” La Paz (Bolivia). 2007). Para estimar con este método que, con la cantidad de materia prima, cuanto se producirá del producto biodiesel.

El balance de materia y energía del proceso se encuentra resumido en la tabla donde se pueden observar que cada valor se encuentra de acuerdo al flujo del proceso que se presenta en la figura 3-19.

La cantidad de aceite usado de cocina que entra en el proceso **3.650 l/día** aproximadamente, dato que se obtiene de la realización de las encuestas y asumiendo que se recoge en todos los restaurantes y locales encuestados, se necesita la densidad del aceite usado es 0,939 kg/l. entonces el flujo másico es de 3.427 kg/día.

Para facilitar los cálculos se redondea un flujo másico inicial de **4.000 kg/día**.

3.7.1 Balance de materia

Se asume que en ningún proceso existen pérdidas.

$F_1 =$ Aceite usado de cocina

SEC-001 Recepción



$P =$ Pérdidas = 0

Línea 1 $F_1 = 4.000$ kg

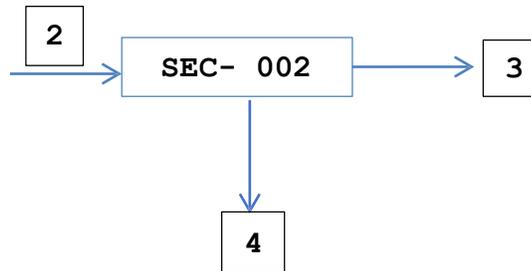
Balance global

$$F_1 = F_2 \quad (1)$$

$$F_2 = 4.000 \text{ kg}$$

SEC-002 Filtrado

Los sólidos suspendidos se establecen que es el 5% de la materia prima



P = Pérdidas = 0

Línea 2 $F_2 = 4.000 \text{ kg}$

Línea 3 $F_3 = ?$

Línea 4 $F_4 = 4.000 \text{ kg} * 0,05 = 200 \text{ kg}$

Balance global

$$F_2 = F_3 + F_4 \quad (2)$$

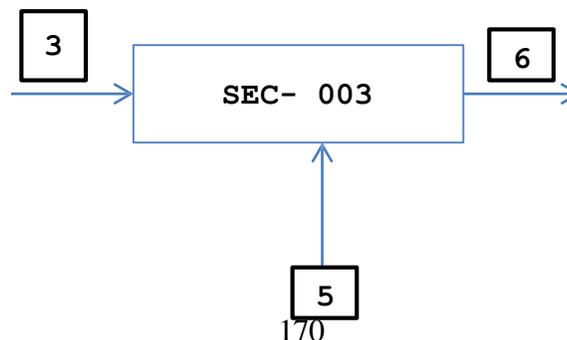
$$F_3 = F_2 - F_4$$

$$F_3 = 4.000 \text{ kg} - 200 \text{ kg}$$

$$F_3 = 3.800 \text{ kg}$$

SEC-003 Desgomado

El agua que entra en este proceso es el 20% del flujo inicial del aceite usado de cocina.



Línea 3 $F_3 = 3.800 \text{ kg}$

Línea 5 $F_5 = 4.000 \text{ kg} * 0,2 = 800 \text{ kg}$

Balance global

$$F_3 + F_5 = F_6 \quad (3)$$

Despejando F_6 tenemos:

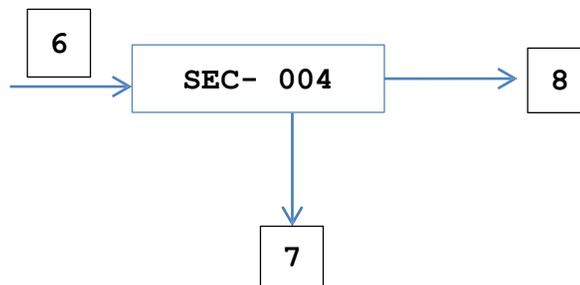
$$F_6 = F_3 + F_5$$

$$F_6 = 3.800 + 800$$

$$F_6 = 4.600 \text{ kg}$$

SEC-004 Separación de fases

Para este proceso del aceite desgomado, el residuo acuoso arrastra el 20 % más de gomas junto al agua que ingresa.



Línea 6 $F_6 = 4.600 \text{ kg}$

Línea 8 $F_8 = ?$

Línea 7 $F_7 = 800 \text{ kg} * 0,20 = 160 \text{ kg} + 800 \text{ kg} = 960 \text{ kg}$

Balance global

$$F_6 = F_7 + F_8 \quad (4)$$

Despejamos F_8 :

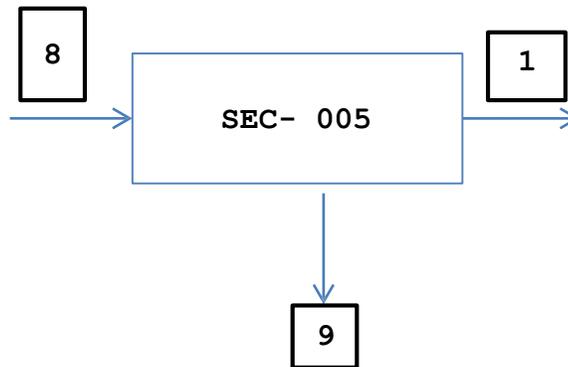
$$F_8 = F_6 - F_7$$

$$F_8 = (4.600 - 960) \text{ kg}$$

$$F_8 = 3.640 \text{ kg}$$

SEC-005 Evaporación

El aceite seco obtiene un 99,5% del aceite que entra al evaporador.



Línea 8 $F_8 = 3.640 \text{ kg}$

Línea 9 $F_9 = ?$

Línea 10 $F_{10} = 3.640 * 0,995 = 3.621,8 \text{ kg}$

Balance global

$$F_8 = F_9 + F_{10} \quad (5)$$

Despejando F_9 , agua evaporada, tenemos:

$$F_9 = F_8 - F_{10}$$

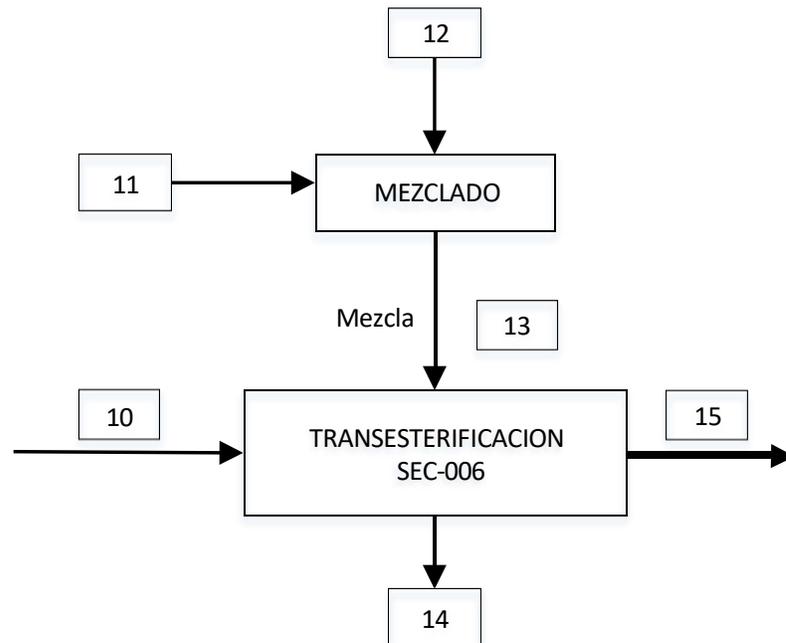
$$F_9 = (3.640 - 3.621,8) \text{ kg}$$

$$F_9 = 18,2 \text{ kg}$$

El flujo de agua evaporada que se obtiene de este proceso es de 18,2 kg.

SEC-006 Transesterificación

Como referencia, la densidad del metanol es 0,791 kg/l



El metóxido de sodio se prepara con 120 ml de metanol por cada litro de aceite (12% en volumen) y 5,60 gramos de NaOH por cada litro de aceite.

Datos

Volumen de aceite= 4.000 l. (aproximado)

Volumen de metanol= 4.000 l*0,12= 480 l.

$\rho_{metanol} = 0,791 \text{ kg/l}$

Línea 10 $F_{10} = 3.621,8 \text{ kg}$

$F_{11} = 480 \text{ l} * 0,791 \text{ kg/l} = 379,68 \text{ kg}$

Masa de NaOH= 0,0056 kg*4.000 l = 22,4 kg

Línea 11 $F_{11} = 379,68 \text{ kg}$

Línea 12 $F_{12} = 22,4 \text{ kg}$

Balance en el mezclado

$$F_{13} = F_{11} + F_{12} \quad (6.1)$$

Reemplazando los valores tenemos:

$$F_{13} = (379,68 + 22,4) \text{ kg}$$

$$F_{13} = 402,08 \text{ kg}$$

El producto que se obtiene en la línea 15, la cual es el producto de la reacción, biodiesel+ glicerina es el 98 % de la mezcla que se tiene en la línea 10.

Línea 10 $F_{10} = 3.621,8 \text{ kg}$

Línea 13 $F_{13} = 402,08 \text{ kg}$

Línea 15 $F_{15} = (3.621,8 + 402,08) \text{ kg} * 0,98 = 3.943,4 \text{ kg}$

Balance global

$$F_{10} + F_{13} = F_{14} + F_{15} \quad (6.2)$$

Despejamos F_{14} que es el metanol evaporado:

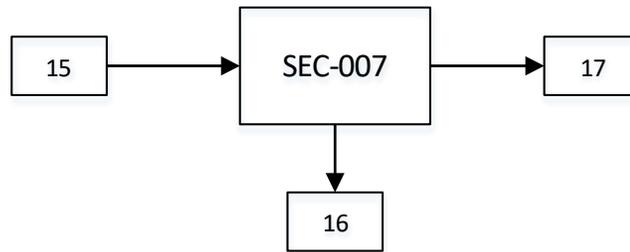
$$F_{14} = F_{10} + F_{13} - F_{15}$$

$$F_{14} = (3.621,8 + 402,08 - 3.943,4) \text{ kg/h}$$

$$F_{14} = 80,48 \text{ kg}$$

SEC-007 Separación de fases

Se tiene como producto principal de biodiesel bruto en la línea 17, la cual es el 98% de la línea 15.



Línea 14 $F_{14} = 80,48 \text{ kg}$

Línea 15 $F_{15} = 3.943,4 \text{ kg}$

Línea 16 $F_{16} = ? \text{ kg}$

Línea 17 $F_{17} = 3.943,4 \text{ kg} * 0,98 = 3.864,53 \text{ kg}$

Balance global

$$F_{15} = F_{16} + F_{17} \quad (7)$$

Despejamos F_{16} :

$$F_{16} = F_{15} - F_{17}$$

$$F_{16} = (3.943,8 - 3.864,53) \text{ kg}$$

$$F_{16} = 79,27 \text{ kg}$$

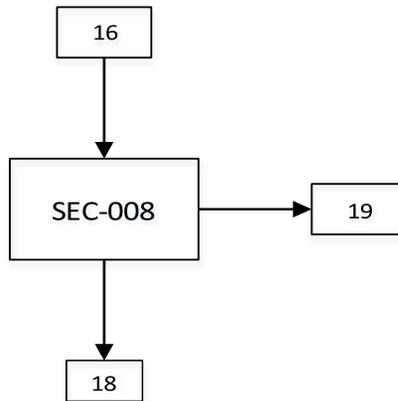
SEC-008 Evaporación para la obtención de la glicerina

La obtención de la glicerina es el 95% de la glicerina bruto que se tiene.

Línea 16 $F_{16} = 79,27 \text{ kg}$

Línea 18 $F_{18} = ? \text{ kg}$

Línea 19 $F_{19} = 79,27 \text{ kg} * 0,95 = 75,31 \text{ kg}$



Balance global

$$F_{16} = F_{18} + F_{19} \quad (8)$$

Se despeja F_{18} :

$$F_{18} = F_{16} - F_{19}$$

$$F_{18} = (79,27 - 75,31) \text{ kg}$$

$$F_{18} = 3,96 \text{ kg}$$

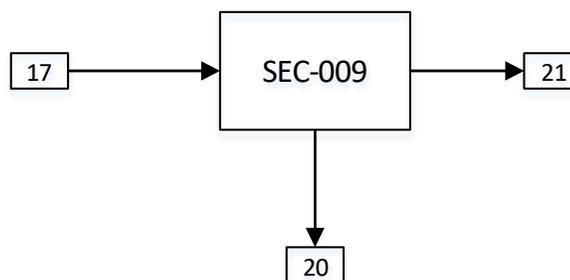
SEC-009 Evaporación para la obtención del biodiesel

La obtención del biodiesel es el 98% del biodiesel bruto que se tiene.

Línea 17 $F_{17} = 3.864,53 \text{ kg}$

Línea 20 $F_{20} = ? \text{ kg}$

Línea 21 $F_{21} = 3.864,53 \text{ kg} * 0,98 = 3.787,24 \text{ kg}$



Balance global

$$F_{17} = F_{20} + F_{21} \quad (9)$$

Se despeja F_{20} :

$$F_{20} = F_{17} - F_{21}$$

$$F_{20} = (3.864,53 - 3.787,24) \text{ kg}$$

$$F_{20} = 77,29 \text{ kg}$$

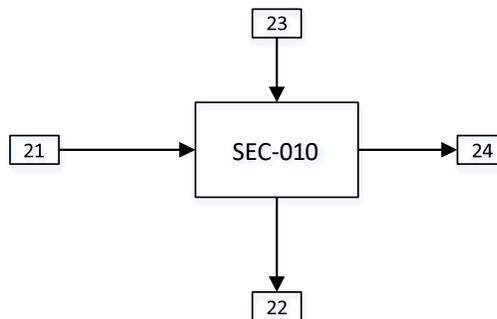
SEC-010 1er Lavado y separación de fases. - En esta etapa se separa 10 % de impurezas.

Línea 21 $F_{21} = 3.787,24 \text{ kg}$

Línea 22 $F_{22} = 1.262,41 * 0,10 + 1.262,41 = 1.388,65 \text{ kg}$

Línea 23 $F_{23} = (1/3) * 3.787,24 = 1.262,41 \text{ kg}$

Línea 24 $F_{24} = ? \text{ kg}$



Balance global

$$F_{21} + F_{23} = F_{22} + F_{24} \quad (10)$$

Se despeja F_{24} :

$$F_{24} = F_{21} + F_{23} - F_{22}$$

$$F_{24} = (3.787,24 + 1.262,41 - 1.388,65) \text{ kg}$$

$$F_{24} = 3.661 \text{ kg}$$

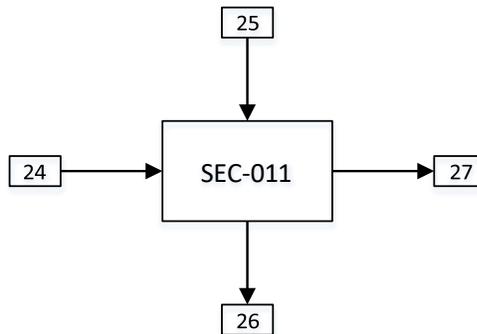
SEC-011 2do Lavado y separación de fases. - En esta etapa se separa 5 % de impurezas.

Línea 24 $F_{24} = 3.661$ kg

Línea 25 $F_{25} = 1.262,41$ kg

Línea 26 $F_{26} = (1.262,41 * 0,05 + 1.262,41)$ kg = 1325,53 kg

Línea 27 $F_{27} = ?$



Balance global

$$F_{24} + F_{25} = F_{26} + F_{27} \quad (11)$$

Se despeja F_{27} :

$$F_{27} = F_{24} + F_{25} - F_{26}$$

$$F_{27} = (3.661 + 1.262,41 - 1.325,53)$$
 kg

$$F_{27} = 3.597,88$$
 kg

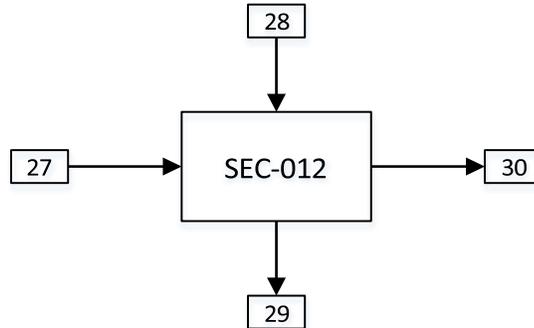
SEC-012 3er Lavado y separación de fases. - En esta etapa se separa 2 % de impurezas.

Línea 27 $F_{27} = 3.597,88$ kg

Línea 28 $F_{28} = 1.262,41$ kg

Línea 29 $F_{29} = (1.262,41 * 0,02 + 1.262,41) = 1.287,65 \text{ kg}$

Línea 30 $F_{30} = ? \text{ kg}$



Balance global

$$F_{27} + F_{28} = F_{29} + F_{30} \quad (12)$$

Despejamos F_{30} :

$$F_{30} = F_{27} + F_{28} - F_{29}$$

$$F_{30} = (3.597,88 + 1.262,41 - 1.287,65) \text{ kg}$$

$$F_{30} = 3.572,64 \text{ kg}$$

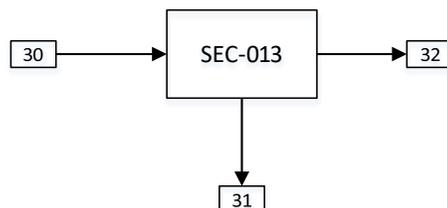
SEC-013 Evaporación (Eliminación del agua del biodiesel).

Se elimina el 0,75% de agua que queda en el biodiesel lavado.

Línea 30 $F_{30} = 3.572,64 \text{ kg}$

Línea 31 $F_{31} = 3.572,64 * (0,0075) \text{ kg} = 26,79 \text{ kg}$

Línea 32 $F_{32} = ?$



Balance global

$$F_{30} = F_{31} + F_{32} \quad (13)$$

Se despeja F_{32} :

$$F_{32} = F_{30} - F_{31}$$

$$F_{32} = (3.572,64 - 26,79) \text{ kg}$$

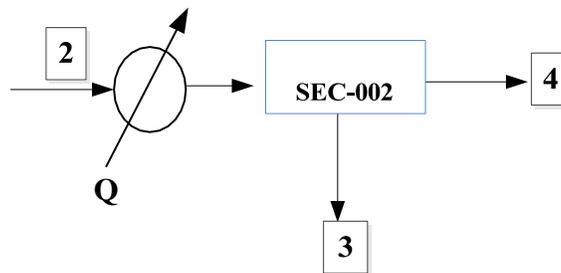
$$F_{32} = 3.545,85 \text{ kg}$$

Según este balance se encuentra el rendimiento del balance: $F_{32} / F_1 * 100$:

Rendimiento= 88,6 %

3.7.2 Balance de Energía

SEC- 002 Energía consumida en el proceso de filtración



El flujo de masa es de 4.000 kg aproximadamente de aceite usado de cocina.

Datos

$$m = 4.000 \text{ kg}$$

Para el dato de C_p de aceite usado de cocina se utiliza el de la tesis de la Universidad Mayor de San Andrés. Instituto de investigación y desarrollo de procesos químicos IIDEPROQ. “Adecuación tecnológica de la obtención de biodiesel.” La Paz (Bolivia). 2007, es de 0,47 kcal/kg. Dato obtenido experimentalmente.

$$C_{p\text{aceite usado de cocina}} = 0,47 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 16,5 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (Dato temperatura ambiente de Tarija del SENAMI)}$$

$$t_2 = 60^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{calentamiento}} = m C_p(\Delta t) \quad (1)$$

$$Q_{\text{calentamiento}} = m C_p (t_2 - t_1)$$

Reemplazando los datos se obtiene:

$$Q_{\text{calentamiento}} = 4.000 \text{ kg} \cdot 0,47 \text{ kcal/ kg}^\circ\text{C} (60 - 16,5) ^\circ\text{C}$$

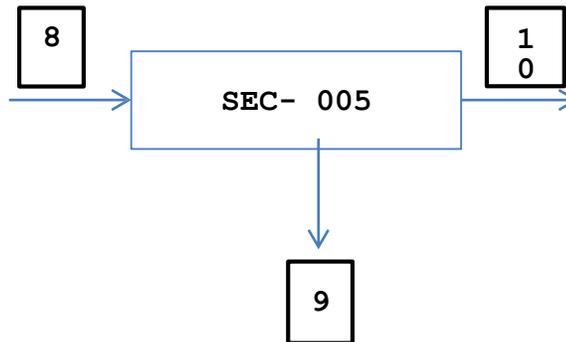
$$Q_{\text{calentamiento}} = 1.880 \text{ kcal} \cdot 43,5$$

$$Q_{\text{calentamiento}} = \mathbf{81.780 \text{ kcal}}$$

SEC-003 y 004 Desgomado del aceite y separación de fases

En este proceso no hay balance de energía porque solo se realiza la separación de fases.

SEC-005 Evaporación

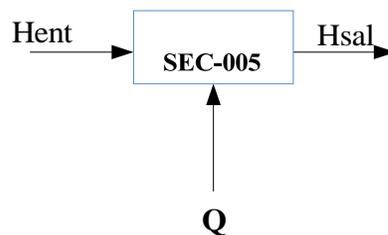


Datos

$$F_8 = 3.640 \text{ kg}$$

$$F_9 = 18,2 \text{ kg agua evaporada}$$

$$F_{10} = 3.621,8 \text{ kg}$$



$$H_{\text{ent}} - H_{\text{sal}} + \delta Q = 0 \quad (2)$$

$$H_1 \cdot F_8 - H_2 \cdot F_9 - H_3 \cdot F_{10} + Q = 0 \quad (D-1)$$

Los datos de H_1 , H_2 y H_3 se encuentran mediante las tablas de vapor, que son las entalpias a la temperatura de entrada y a la salida, (ver anexo C).

$$1 \text{ kJ/kg} = 0,2389 \text{ kcal/kg}$$

$$H_1(16,5^\circ\text{C}) = 69,22 \text{ kJ/kg} = 16,54 \text{ kcal/kg}$$

$$H_3 (95^\circ\text{C}) = 95,01 \text{ kcal/kg}$$

$$H_2 (95^\circ\text{C}) \text{ vapor saturado} = 637 \text{ kcal/kg}$$

$$F_8 = 3.640 \text{ kg}$$

$$F_9 = 18,2 \text{ kg}$$

$$F_{10} = 3.621,8 \text{ kg}$$

$$Q = H_2 \cdot F_9 + H_3 \cdot F_{10} - H_1 \cdot F_8$$

$$Q = 637 \text{ kcal/kg} \cdot 18,2 \text{ kg} + 95,01 \text{ kcal/kg} \cdot 3.621,8 \text{ kg} - 16,54 \text{ kcal/kg} \cdot 3.640 \text{ kg}$$

$$Q = 11.593,4 \text{ kcal} + 344.107,22 \text{ kcal} - 60.205,6 \text{ kcal}$$

$$\mathbf{Q = 295.495,02 \text{ kcal}}$$

SEC-006 Transesterificación

En el siguiente cuadro se observa los compuestos que tiene el aceite usado.

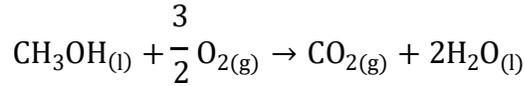
Compuesto	I
Trioleina	A
Tripalmitina	B
Trilinolina	C
Metanol	D
Hidróxido de sodio	E
Metoxido de sodio	F
Agua	G
Ácido	H
Material no trans. e impurezas	I

Calores estándar de combustión y formación

Compuesto	Estado	$-\Delta H_c \left(\frac{Kcal}{mol} \right)$	$\Delta H_f \left(\frac{Kcal}{mol} \right)$
Trioleina		8.353,80	
Tripalmitina		7.552,22	
Trilinolina		8.209,30	
Oleato de metilo		2.820,85	
Palmitato de metilo		2.540,83	
Linolato de metilo		2.787,75	
Metanol			-57,640
Glicerol			-159,16
Dióxido de carbono			-94,052
Agua			-68,3179

Fuente: Bailey A. E., (1981), Clements L. D., (1994) y Perry R. H., (1991)

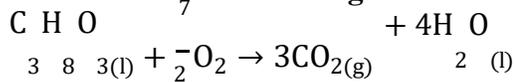
Calor de combustión del metanol



$$\Delta H_c = \sum \alpha_i (\Delta H_{f,i}) \quad \alpha_i: (+) \text{ productos} \\ (-) \text{ reactivos}$$

$$\Delta H_{c \text{ metanol}} = -94,052 + 2(-68,3179) - (-57,64) = -173,0478 \text{ kcal/mol}$$

Calor de combustión del glicerol



$$\Delta H_{c \text{ glicerol}} = 3(-94,052) + 4(-68,3179) - (-159,16) = -396,2676 \text{ kcal/mol}$$

Calor de transesterificación de la trioleína



$$\Delta H^{\circ}_r = \sum \alpha_i (\Delta H^{\circ}_{c,i}) \quad \alpha_i = (+) \text{ reactivos} \\ (-) \text{ productos}$$

$$\Delta H^{\circ}_r = [-8.353,8 + 3(-173,0748)] - [3(-2.820,85) + (-396,2676)]$$

$$\Delta H^{\circ}_{r(25^{\circ}\text{C})} = -14,125 \text{ kcal/mol}$$

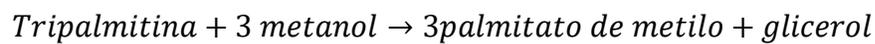
$$\Delta H^{\circ}_{r(70^{\circ}\text{C})} = \Delta H^{\circ}_{r(25^{\circ}\text{C})} + \int_{t1}^{t2} \Delta C_p dt$$

$$\Delta C_p = 3C_{p_p} + C_{p_M} - (C_{p_A} + 3C_{p_D}) = 3(237,848) + 35,9 - [644,79 + 3(19,40)]$$

$$\Delta C_p = 46,454 \text{ cal/mol}$$

$$\Delta H_{r(70^{\circ}\text{C})} = -\frac{14,1258 \text{ kcal}}{\text{mol}} + \frac{0,0464 \text{ kcal}}{\text{mol}} * (70 - 25)^{\circ}\text{C} = -\frac{12,0378 \text{ kcal}}{\text{mol}} \\ = -50,388 \text{ kJ/mol}$$

Calor de transesterificación de tripalmitina



$$\Delta H^{\circ}_r = [-7552,22 + 3(-173,0478)] - [3(-2540,83) + (-396,2676)]$$

$$\Delta H^{\circ}_{r(25^{\circ}C)} = -52,6058 \text{ kcal/mol}$$

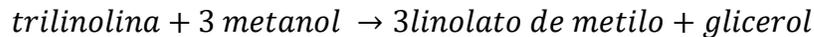
$$\Delta C_p = 3C_{pK} + C_{pM} - (C_{pB} + 3C_{pD}) = 3(222,8) + 35,9 - [649,2 + 3(19,40)]$$

$$\Delta C_p = -3,1 \text{ cal/mol}$$

$$\Delta H_{r(70^{\circ}C)} = -52,6058 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}} - 0,0031 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}(70 - 25) = -52,7453 \text{ kcal/mol}$$

$$\Delta H_{r(70^{\circ}C)} = -220,784 \text{ kJ/mol}$$

Calor de transesterificación de la trilinolina



$$\Delta H^{\circ}_r = [-8.209,3 + 3(-173,0478)] - [3(-2.787,75) + (-396,2676)]$$

$$\Delta H^{\circ}_{r(25^{\circ}C)} = 31,0742 \text{ kcal/mol}$$

$$C_p = 3C_{pL} + C_{pM} - (C_{pC} + 3C_{pD}) = 3(228,4) + 35,9 - [666 + 3(19,40)]$$

$$C_p = 685,2 + 35,9 - 724,2 = -3,1 \text{ cal/mol}$$

$$\Delta H_{r(70^{\circ}C)} = 31,0742 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}} - 0,0031 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}(70 - 25) = 30,9347 \text{ kcal/mol}$$

Calor del aceite

$$\Delta H_r = \Delta H_{r(A)} + \Delta H_{r(B)} + \Delta H_{r(C)}$$

$$\Delta H_r = [(-12,0378) + (-52,7453) + (30,9347)] \text{ kcal/mol}$$

$$\Delta H_r = -33,8484 \text{ kcal/mol}$$

SEC-007 Separación de fases.

No existe balance de energía.

SEC-008 Evaporación para la obtención de la glicerina

Datos

$$m = F_{16} = 79,27 \text{ kg}$$

$$C_{p \text{ glicerina}} = 0,576 \text{ kcal/kg } ^{\circ}C$$

$$t_5 = 16,5^\circ\text{C}$$

$$t_6 = 70^\circ\text{C}$$

$$Q = m C_p (t_6 - t_5)$$

$$Q = 79,27 \text{ kg} * 0,576 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} * (70 - 16,5) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 2.442,78 \text{ kcal}$$

El calor necesario es de **2.442,78 kcal** para evaporar el metanol de la glicerina.

SEC-009 Evaporación para la obtención del biodiesel

El calor específico C_p del biodiesel es de aproximadamente 1,9-2,1 kJ/kg $^\circ\text{C}$. Se analiza con $C_p = 2,1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

$$1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} = 0,2389 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

Datos

$$m = F_{17} = 3.864,53 \text{ kg}$$

$$C_{p \text{ biodiesel}} = 2,1 \text{ kJ/Kg}^\circ\text{C} = 0,501 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

$$t_7 = 16,5^\circ\text{C}$$

$$t_8 = 70^\circ\text{C}$$

$$Q = m C_p (t_8 - t_7)$$

$$Q = 3.864,53 \text{ kg} * 0,501 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} * (70 - 16,5) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 102.549,17 \text{ kcal}$$

Para el proceso de lavado en las tres etapas y la separación de fases se realizan a temperatura ambiente, requiriendo 2 horas para el 1er lavado, 1 hora para el 2do lavado y 1 hora para el tercer lavado. Cada separación de fases requiere 30 min.

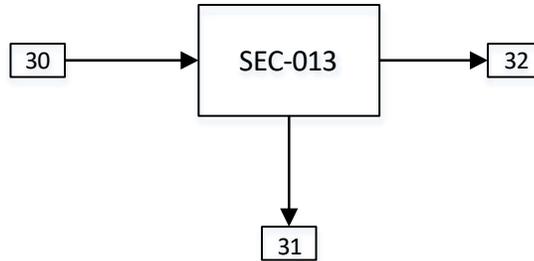
SEC-013 Evaporación (Eliminación del agua del biodiesel)

Capacidad de tratamiento de biodiesel:

$$F_{30} = 3.572,64 \text{ kg}$$

$$F_{31} = 26,79 \text{ kg}$$

$$F_{32} = 3.545,85 \text{ kg}$$



$$H_{ent} - H_{sal} + \delta Q = 0$$

$$H_4 * F_{30} - H_5 * F_{32} - H_6 * F_{31} + Q = 0 \quad (D-2)$$

Los datos de H_4 , H_5 y H_6 se encuentran mediante las tablas de vapor, que son las entalpías del a la temperatura de entrada y a la salida, (ver anexo C).

$$1 \text{ kJ/kg} = 0,2389 \text{ kcal/kg}$$

$$H_4 (16,5^\circ\text{C}) = 69,22 \text{ kJ/kg} = 16,54 \text{ kcal/kg}$$

$$H_5 (95^\circ\text{C}) = 95,01 \text{ kcal/kg}$$

$$H_6 (95^\circ\text{C}) \text{ vapor saturado} = 637 \text{ kcal/kg}$$

$$F_{30} = 3.572,64 \text{ kg}$$

$$F_{31} = 26,79 \text{ kg}$$

$$F_{32} = 3.545,85 \text{ kg}$$

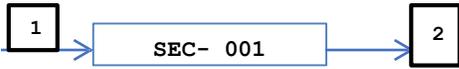
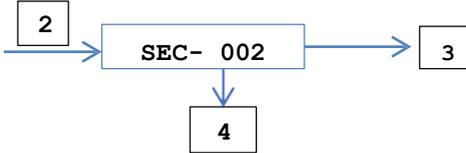
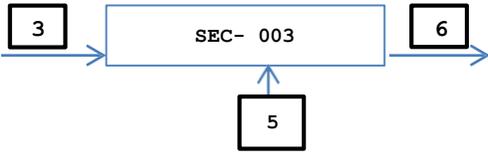
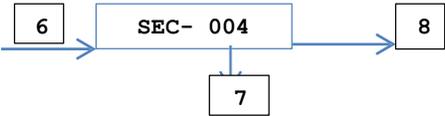
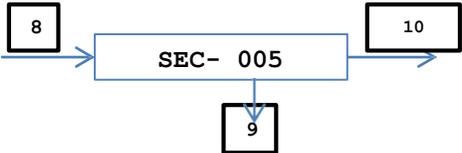
$$Q = H_5 * F_{32} + H_6 * F_{31} - H_4 * F_{30}$$

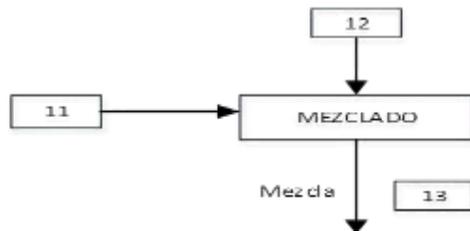
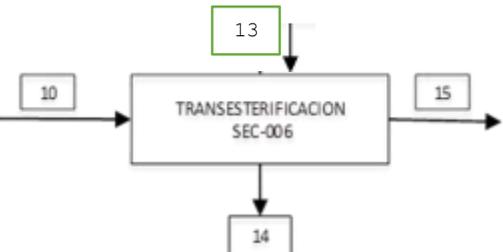
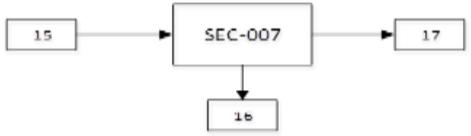
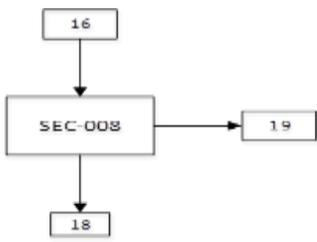
$$Q = 95,01 \text{ kcal/kg} * 3.545,85 \text{ kg} + 637 \text{ kcal/kg} * 26,79 \text{ kg} - 16,54 \text{ kcal/kg} * 3.572,64 \text{ kg}$$

$$Q = 336.891,21 \text{ kcal} + 17.065,23 \text{ kcal} - 59.091,46 \text{ kcal}$$

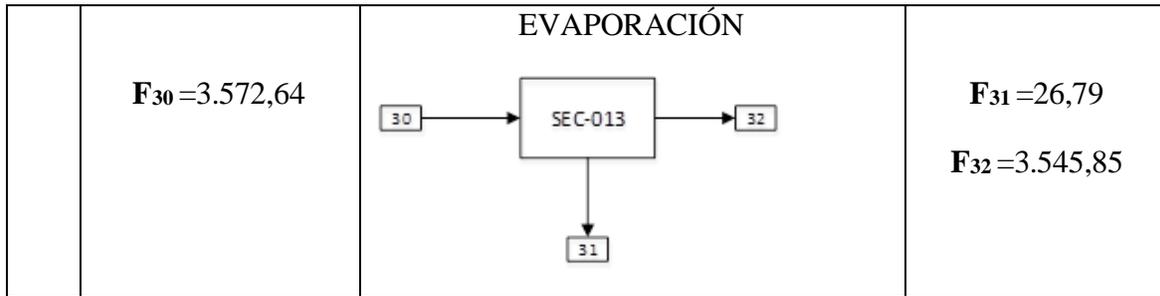
$$Q = \mathbf{294.864,98 \text{ kcal}}$$

Tabla III- 12: Balance de materia

N°	ENTRADA (kg)	PROCESO	SALIDA (kg)
1	$F_1=4.000$	<p>RECEPCIÓN</p> 	$F_2=4.000$
2	$F_2=4.000$	<p>FILTRADO</p> 	$F_3=3.800$ $F_4=200$
3	$F_3=3.800$ $F_5=800$	<p>DESGOMADO</p> 	$F_6=4.600$
4	$F_6=4.600$	<p>SEPARACIÓN DE FASES</p> 	$F_7=960$ $F_8=3.640$
5	$F_8=3.640$	<p>EVAPORACIÓN</p> 	$F_9=18,2$ $F_{10}=3.621,8$

6	$F_{11} = 379,68$ $F_{12} = 22,4$	<p style="text-align: center;">REACCION DE TRANSESTERIFICACIÓN</p> 	$F_{13} = 402,08$
N°	ENTRADA (Kg)	PROCESO	SALIDA (Kg)
	$F_{10} = 3.621,8$ $F_{13} = 402,08$	<p style="text-align: center;"><i>Reacción Transesterificación</i></p> 	$F_{14} = 80,48$ $F_{15} = 3.943,4$
7	$F_{15} = 3.943,4$	<p style="text-align: center;">SEPARACIÓN DE FASES</p> 	$F_{16} = 79,27$ $F_{17} = 3.864,53$
8	$F_{16} = 79,27$	<p style="text-align: center;">OBTENCION DE GLICERINA</p> 	$F_{18} = 3,96$ $F_{19} = 75,31$

9	$F_{17}=3.864,53$	<p>OBTENCION DE BIODIESEL</p> <pre> graph LR 17[17] --> SEC009[SEC-009] SEC009 --> 21[21] SEC009 --> 20[20] </pre>	$F_{20}=77,29$ $F_{21}=3.787,24$
10	$F_{21}=3.787,24$ $F_{23}=1.262,41$	<p>1er LAVADO Y SEPARACION DE FASES</p> <pre> graph TD 21[21] --> SEC010[SEC-010] 23[23] --> SEC010 SEC010 --> 24[24] SEC010 --> 22[22] </pre>	$F_{22}=1.388,65$ $F_{24}=3.661$
N°	ENTRADA (Kg)	PROCESO	SALIDA (Kg)
11	$F_{24}=3.661$ $F_{25}=1.262,41$	<p>2do LAVADO Y SEPARACION DE FASES</p> <pre> graph TD 24[24] --> SEC011[SEC-011] 25[25] --> SEC011 SEC011 --> 27[27] SEC011 --> 26[26] </pre>	$F_{26}=1.325,53$ $F_{27}=3.597,88$
	$F_{27}=3.597,88$ $F_{28}=1.262,41$	<p>3er LAVADO Y SEPARACION DE FASES</p> <pre> graph TD 27[27] --> SEC012[SEC-012] 28[28] --> SEC012 SEC012 --> 30[30] SEC012 --> 29[29] </pre>	$F_{29}=1.287,65$ $F_{30}=3.572,64$



Fuente: Elaboración propia con los cálculos del balance de materia. 2022.

Tabla III- 13: Balance de Energía

PROCESO	FLUJO	ENTRADA	SALIDA
FILTRACION	$Q_{\text{calentamiento}}$	81.780 kcal	
EVAPORACION	$H_{\text{entr}} = H_1 * F_8$ 16,54kcal/Kg* 3.640kg	60.205,6 kcal	
	$H_{\text{sal}} = H_2 F_9 + H_3 F_{10}$ (637kcal/kg*18,2 kg) + (95,01kcal/kg*3.621,8 kg)		355.700,62kcal
	$Q_{\text{para evaporación}}$	295.495,02kcal	
REACCION DE TRANSESTERIFICACION			
<i>Calor de combustión del metanol</i>	ΔH_c metanol	-173,05 kcal/mol	
<i>Calor de combustión del glicerol</i>	ΔH_c glicerol	-396.2676 kcal/mol	

<i>Calor de transesterificación de la trioleína</i>	$\Delta H_r (70^\circ)$	-12,0378 kcal/mol	
<i>Calor de transesterificación de la tripalmitina</i>	$\Delta H_r (70^\circ)$	-52,7453 kcal/mol	
<i>Calor de transesterificación de la trilinolina</i>	$\Delta H_r (70^\circ)$	30,9347 kcal/mol	
<i>Calor del Aceite</i>	$\Delta H_r (70^\circ)_{total}$	-33,8484 kcal/mol	

PROCESO	FLUJO	ENTRADA	SALIDA
EVAPORACIÓN DEL METANOL PARA OBTENER GLICERINA	$Q_{P/evaporación\ del\ metanol}$		2442,78 kcal
EVAPORACION DEL METANOL PARA OBTENER BIODIESEL	$Q_{P/evaporación\ del\ metanol}$		102.549,17 kcal
EVAPORACION DEL AGUA DEL BIODIESEL	$Q_{P/evaporación\ del\ AGUA}$		294.864,98 kcal

Fuente: Elaboración propia con los cálculos de balance de energía. 2022.

Los tiempos requeridos para operación se muestran en la siguiente tabla.

Tabla III- 14: Tiempo de los procesos para la obtención de biodiesel

No	Proceso	Tiempo(horas)
1	Filtración del aceite	2.2
2	Desgomado del aceite y separación de fases	1
3	Evaporación del agua	4.7
4	Transesterificación	2
5	Recuperación del metanol	4.8
6	Lavado y separación de fases	5.5
7	Evaporación del agua	5

Fuente: Universidad Mayor de San Andrés. Instituto de investigación y desarrollo de procesos químicos IIDEPROQ. “*Adecuación tecnológica de la obtención de biodiesel.*” La Paz (Bolivia). 2007 [en línea] [Pág. 138]. Disponible en http://www.revistavirtualpro.com/files/TIE02_200707.pdf

3.8. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DE PROCESO

El equipo más importante es el reactor de transesterificación, por lo cual se realizará su siguiente diseño.

3.8.1. DISEÑO DEL REACTOR DE TRANSESTERIFICACIÓN

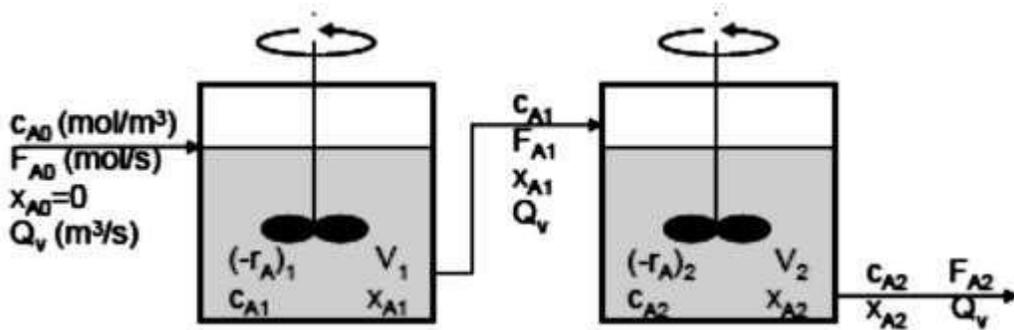
La capacidad del reactor para el presente trabajo se determinó para la producción de un volumen de 5000 l, bajo un régimen de proceso tipo batch que es del tipo más económica para bajos volúmenes y además presentar mayor flexibilidad en caso de requerir modificación al proceso.

En cuanto al material de construcción se selecciona acero inoxidable AISI 304 debido a su gran resistencia a la corrosión atmosférica y ácidos grasos libres, gracias a su contenido de

chromo y níquel.

El diseño del reactor debe soportar diferentes condiciones de acidez del aceite y niveles de excesos de metanol. La temperatura de operación se estima en 75 °C, por lo que el material seleccionado para su confección debe soportar el cambio de temperatura, así como también las presiones que van de orden de la atmosférica a la presión de diseño de 30 psi.

Figura 3- 13: Reactor de proceso discontinuo



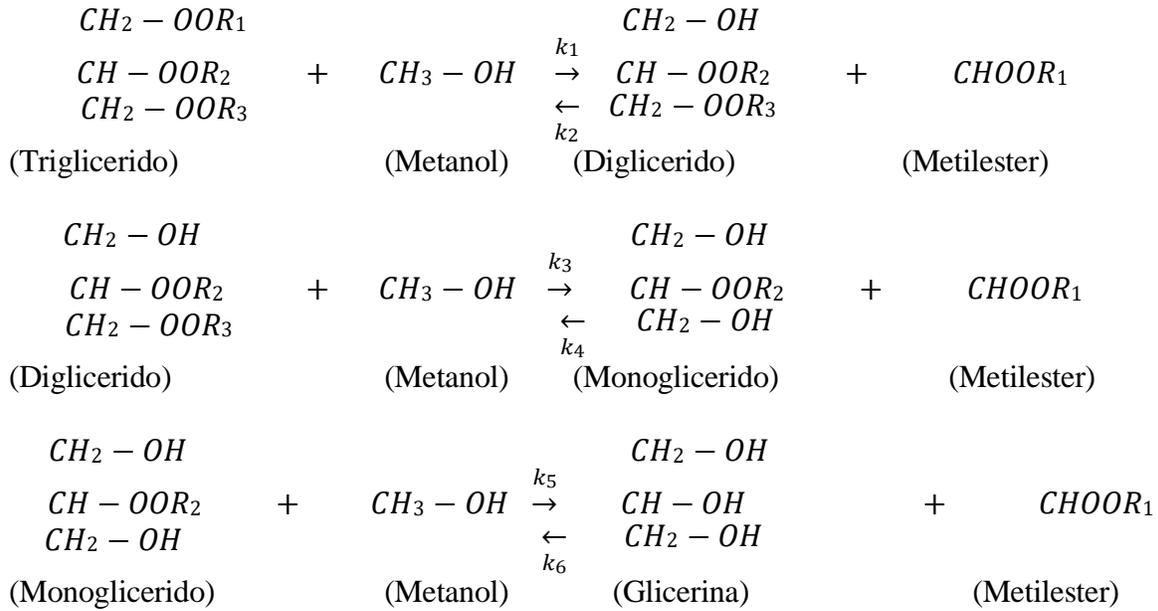
$$[Acumulada] = [entrada] - [salida] + [generación]$$

$$0 = F_{A0} - F_{A0}(1 - x_{A1}) - (-r_{A1})V_1$$

$$\therefore F_{A0}x_{A1} = (-r_{A1})V_1 \quad (molA/s)$$

$$\therefore \frac{V_1}{F_{A0}} = \frac{x_{A1}}{(-r_{A1})} \quad (m^3s / \quad)$$

$$\frac{V_1 C_{A0}}{F_{A0}} = \frac{C_{A0} - C_{A1}}{(-r_{A1})}$$



La expresión de la velocidad de reacción para las tres ecuaciones es:

$$\begin{aligned}
 \tau_1 &= \frac{V_1}{Q_v} = \frac{C_{A0} - C_{A1}}{(-\gamma_A)_1} = \frac{C_{A0}x_{A1}}{(-\gamma_A)_1} \quad (s) \\
 \tau_2 &= \frac{V_2}{Q_v} = \frac{C_{A1} - C_{A2}}{(-\gamma_A)_2} = \frac{C_{A1}x_{A2}}{(-\gamma_A)_2} \\
 \tau_3 &= \frac{V_3}{Q_v} = \frac{C_{A2} - C_{A3}}{(-\gamma_A)_3} = \frac{C_{A2}x_{A3}}{(-\gamma_A)_3}
 \end{aligned}$$

Despejando el volumen de cada ecuación:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \frac{C_{A0}x_{A1}}{(-\gamma_A)_1} * Q_v \\
 V_2 &= \frac{C_{A1}x_{A2}}{(-\gamma_A)_2} * Q_v \\
 V_3 &= \frac{C_{A2}x_{A3}}{(-\gamma_A)_3} * Q_v
 \end{aligned}$$

Como las etapas de reacción se llevan en el mismo reactor entonces la velocidad es igual a la velocidad general (punto 3.4.1 cinética de reacción).

$$\frac{d[TG]}{dt} = (-r_A)_1 = (-r_A)_2 = (-r_A)_3$$

Para la reacción completa la ecuación de velocidad se describe:

$$\frac{d[TG]}{dt} = k_1[TG][A] + k_6[GL][E] + k_4[MG][E] + k_2[DG][E]$$

El volumen del reactor se asume como la suma de:

$$V_{reactor} = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_{reactor} = \frac{C_{A0}x_{A1}}{(-r_A)_1} * Q_v + \frac{C_{A1}x_{A2}}{(-r_A)_2} * Q_v + \frac{C_{A2}x_{A3}}{(-r_A)_3} * Q_v$$

$$V_{reactor} = Q_v \left[\frac{C_{A0}x_{A1}}{(-r_A)_1} + \frac{C_{A1}x_{A2}}{(-r_A)_2} + \frac{C_{A2}x_{A3}}{(-r_A)_3} \right]$$

Reemplazando a la ecuación de la velocidad:

$$V_{reactor} = \frac{Q_v}{k_1[TG][A] + k_6[GL][E] + k_4[MG][E] + k_2[DG][E]} * [C_{A0}x_{A1} + C_{A1}x_{A2} + C_{A2}x_{A3}]$$

Donde las expresiones entre corchetes representan las concentraciones molares de los componentes siguientes:

[TG]: Triglicéridos.

[DG]: Diglicéridos.

[MG]: Monoglicéridos.

[GL]: Glicerina.

[A]: Alcohol (bajo peso molecular)

[E]: Etiléster o metiléster

De acuerdo al balance de materia, se puede determinar el volumen húmedo para el reactor

que es de $V_H = 4.285,28 \text{ l}$ (dato del $F_{10} = 3621,8$ más $F_{13} = 402,08$; un total de entrada $4023,88 \text{ Kg}$); ahora aplicando un factor de seguridad que quiere decir que el volumen húmedo corresponde al 75% del volumen total del reactor, entonces:

$$V_{TR} = \frac{V_H}{0,75} = \frac{4.285,28 \text{ l}}{0,75} \rightarrow V_{TR} = 5.713,71 \text{ l}$$

Por lo tanto, por conveniencia de cálculo el volumen del estanque se fijará en 6.000 l y para el dimensionamiento del reactor se establece una relación de altura y diámetro de H/D de 2, por tanto, las dimensiones del reactor serán:

$$V_{TR} = \frac{\pi * D^2 * H}{4}$$

$$\frac{H}{D} = 2 \rightarrow H = 2D$$

$$V_{TR} = \frac{\pi * D^2 * 2D}{4} \rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{TR}}{2\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 * 6 \text{ m}^3}{2\pi}}$$

$$\rightarrow D = 1,56 \text{ m y } H = 3,12 \text{ m}$$

a) Espesor de pared del reactor. -

Para calcular los espesores de las paredes del reactor como los cabezales, se utilizaron las ecuaciones ASME de la sección VIII división 1 (American Society Mechanical Engineers), bajo condiciones de presión interna. El reactor operara a presión atmosférica, lo que implica para entonces determinar la presión de diseño que según recomendación de Meggesy, debe ser de 30 psi o 10 % más que la presión de operación, cual fuese mayor:

$$t = \frac{P_D * r}{\sigma_{adm} * E - 0,6 * P_D}$$

$\sigma_{adm} = \text{Tensión máxima admisible} = 25000 \text{ psi}$
 $E = \text{Eficiencia de la junta en las soldaduras} = 0,5$
 $P_D = \text{Presión del diseño}$
 $r = \text{Radio interno}$

$$r = \frac{1,56 \text{ m}}{2} = 0,78 \text{ m} * \frac{39,3701 \text{ in}}{1 \text{ m}} = 30,71 \text{ in}$$

$$t = \frac{30 \text{ psi} * 30,71 \text{ in}}{25000 \text{ psi} * 0,5 - 0,6 * 30 \text{ psi}} = 0,074 \text{ in} \Rightarrow t = 1,87 \text{ mm} + 3 \text{ mm}$$

$$t = 4,87 \text{ mm} \approx t = 5 \text{ mm}$$

b) Espesor de cabezales

- Cabezal superior. – El cabezal superior es del tipo elipsoidal debido a que este tipo de cabezal ofrece un área superficial para la instalación de accesorios además de ser el más utilizado para recipientes de mediano y pequeño diámetro. El material de construcción es acero inoxidable AISI 304. El espesor de este tipo de cabezal se calcula:

$$t = \frac{P_D * r}{2 * \sigma_{adm} * E - 0,2 * P_D}$$

$$t = \frac{30 \text{ psi} * 30,71 \text{ in}}{2 * 25000 \text{ psi} * 0,5 - 0,2 * 30 \text{ psi}}$$

$$t = 0,036 \text{ in} \Rightarrow t = 0,91 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 3,91 \text{ mm} \approx t = 4 \text{ mm}$$

- Cabezal inferior. - El cabezal inferior es del tipo toriesférico el cual posee la menor área, por ende, hay un menor gasto de material y es más resistente a los esfuerzos en comparación con el elíptico, su espesor es calculado como:

$$t = \frac{P_D * L * M}{2 * \sigma_{adm} * E - 0,2 * P_D}$$

$$M = \frac{1}{4} * \left(3 + \sqrt{\frac{L}{ter}} \right)$$

Recomendaciones ASME:

$$\begin{aligned} L &\leq D \\ \frac{L}{ter} &\leq 16,67 \end{aligned}$$

$$ter = 100 \text{ mm}$$

$$L = 1560 \text{ mm} = 61,4173 \text{ in}$$

$$M = \frac{1}{4} * \left(3 + \sqrt{\frac{1560 \text{ mm}}{100 \text{ mm}}} \right)$$

$$M = 1,74$$

$$t = \frac{30 \text{ psi} * 61,4173 \text{ in} * 1,74}{2 * 25000 \text{ psi} * 0,5 - 0,2 * 30 \text{ psi}}$$

$$t = 0,12 \text{ in} \Rightarrow t = 3,04 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 5,04 \text{ mm} \approx t = 5 \text{ mm}$$

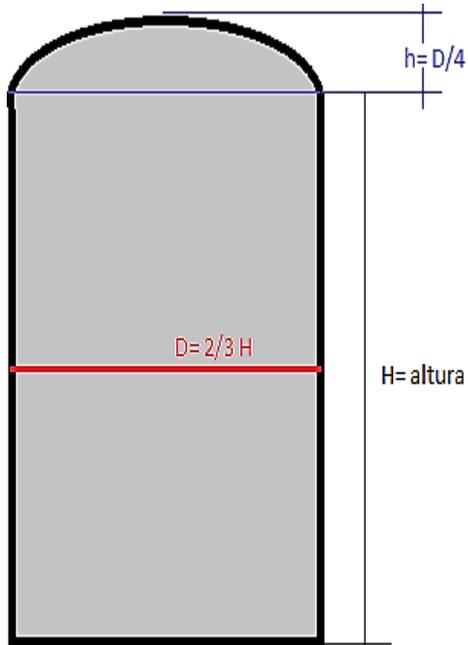
3.8.2. DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

La cantidad de aceite usado de cocina que entra en el proceso 3650 l, dato que se obtiene de la realización de las encuestas, este es el volumen de la materia prima. Con este dato se puede realizar el diseño del tanque de almacenamiento de aceite y un tanque de decantación para el pretratamiento del aceite usado recepcionado.

Estimando un volumen tomando en cuenta un crecimiento, se estima una capacidad de almacenamiento de 4000 lt

Los tanques de almacenamiento de materias primas y productos de la planta se diseñan según el código API-ASME, para el diseño de tanques que trabajan a presión atmosférica y contienen productos líquidos.

**1. Tanque de almacenamiento de materia prima y de producto terminados.
También para proceso de desgomado**



$$V_{cilindro} = 4000 \text{ lt}$$

$$V_{cilindro} = \pi R^2 H$$

$$D = 2R$$

$$V_{cilindro} = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 H = \frac{\pi}{4} D^2 H$$

$$V_{cilindro} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{2}{3} H\right)^2 H = \frac{\pi}{4} \left(\frac{4}{9} H^2\right) H$$

$$V_{cilindro} = \frac{\pi}{9} H^3 \Rightarrow H^3 = \frac{9V_{cilindro}}{\pi}$$

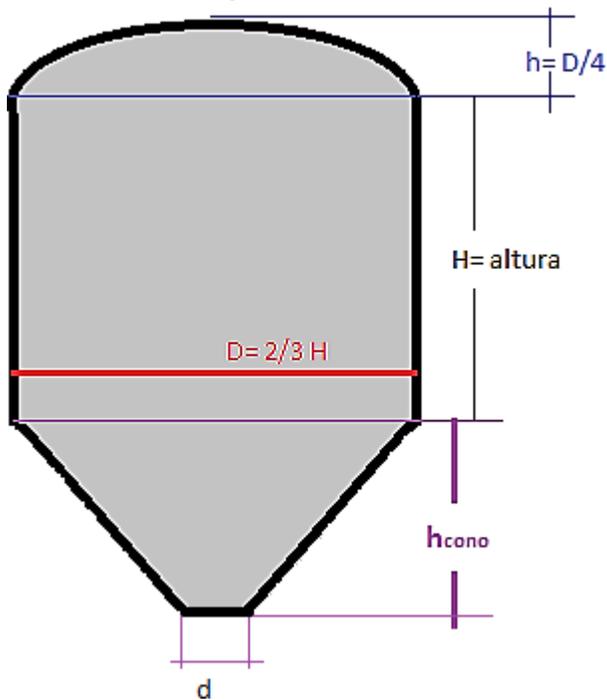
$$H = \sqrt[3]{\frac{9V_{cilindro}}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{9 * 4m^3}{\pi}} \Rightarrow H$$

$$= 2,25 \text{ m}$$

$$D = \frac{2}{3} H = \frac{2}{3} * 2,25 \text{ m} \Rightarrow D = 1,50 \text{ m}$$

$$h_{cabeza} = \frac{D}{4} = \frac{1,50}{4} \Rightarrow h_{cabeza} = 0,37 \text{ m}$$

2. Tanques para separación de fases



$$V_{cono} = \frac{1}{3} \pi R^2 h_{cono}$$

Asumimos: $V_{cono} = \frac{V_{cilindro\ tk\ alm.}}{3}$

El volumen del cilindro es del tanque de almacenamiento.

$$V_{cono} = \frac{4\ m^3}{3} \Rightarrow V_{cono} = 1,33\ m^3$$

$$D = 2R \Rightarrow R = \frac{D}{2}$$

$$V_{cono} = \frac{1}{3} \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 h_{cono} = \frac{1}{12} \pi D^2 h_{cono}$$

$$h_{cono} = \frac{12 V_{cono}}{\pi D^2}$$

Para hallar la altura H se calcula con el nuevo volumen de cilindro descontando el volumen del cono:

$$V_{cilindro} = 4\ m^3 - 1,33\ m^3 = 2,67\ m^3$$

$$H^3 = \frac{9V_{cilindro}}{\pi}$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{9V_{cilindro}}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{9 * 2,67\ m^3}{\pi}} \Rightarrow H = 1,96\ m$$

$$D = \frac{2}{3} H = \frac{2}{3} * 1,96\ m \Rightarrow D = 1,30\ m$$

Para calcular la altura se utiliza la siguiente ecuación:

$$h_{cono} = \frac{D - d}{2 * \tan \alpha}$$

Asumimos que el $\alpha=45^\circ$ y el $d=7,5\text{cm}$, que es el diámetro de la tubería que conecta al tanque.

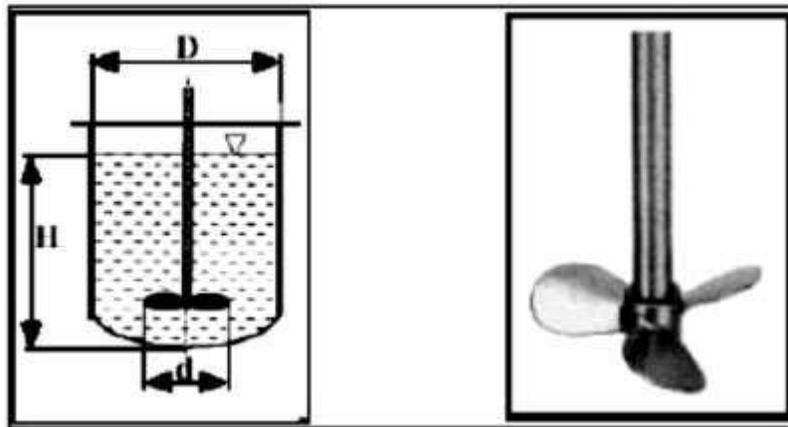
$$h_{cono} = \frac{1.30\text{ m} - 0.075\text{m}}{2 * \tan 45^\circ} \rightarrow h_{cono} = 0,60\text{ m} \rightarrow h_{cono} = \mathbf{60\text{ cm}}$$

$$h_{cabeza} = \frac{D}{4} = \frac{1,30\text{ m}}{4} \Rightarrow h_{cabeza} = \mathbf{0,32\text{ m}}$$

Para el diseño de agitador en el tanque de desgomado se utiliza las siguientes semejanzas geométricas.

Se elige un sistema de agitación de tipo hélice porque este tipo de impulsor se utiliza para homogenizar, suspender fluidos y favorece el intercambio de calor.

Figura 3- 14: Impulsor de hélice.



Fuente: Diseño y cálculo de un agitador de fluidos; autor Vladimir Castillo Uribe (octubre 2013).

Tabla III- 15: Características impulsor tipo hélice.

Descripción	Generalmente utilizan 3 alabes o paletas
Campo de flujo generado	Axial
Régimen alcanzado	Turbulento
Velocidad tangencial	3-5 m/s
Viscosidad del medio	< 8 Pa.s

Fuente: Diseño y cálculo de un agitador de fluidos; autor Vladimir Castillo Uribe (octubre 2013).

También tomando en cuenta la viscosidad del aceite comestible que es:

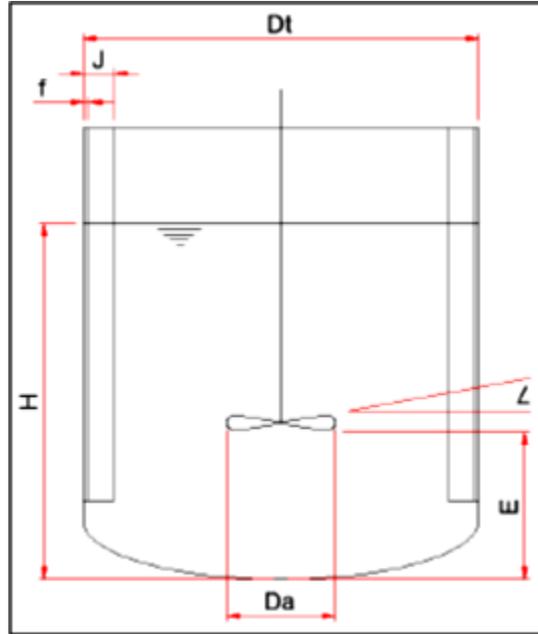
Tabla III- 16: Propiedades fisicoquímicas del aceite de partida y biodiesel

Propiedad	Aceite de partida	Biodiesel
Densidad a 22 °C (g/ml)	0,906	0,869
Viscosidad a 22°C (μ) (Pa.s)	0,1683	0,0075
Índice de acidez	No medido	1,7

Fuente: Análisis de biodiesel preparado a partir de residuos de aceite doméstico, mediante RMN; autor: Juan Carlos Cedrón, Arturo Moncada, Piero Mendoza, (UTE) (Lima ene. 2014).

Para un sistema de agitación de tipo hélice las semejanzas geométricas son las siguientes:

Figura 3- 15: semejanza geométrica de Impulsor tipo hélice.



Fuente: Diseño y cálculo de un agitador de fluidos; autor Vladimir Castillo Uribe (octubre 2013).

Donde:

$$H / Dt = 1$$

$$Da / Dt = 0,33$$

$$E / Dt = 0,33$$

$$\leq 25^\circ$$

$$J / Dt = 0,1$$

$$f / J = 0,02$$

Para el tanque de desgomado podemos realizar el siguiente cálculo para implementar un agitador:

$$D = 1,30 \text{ m}$$

$$H_{\text{fluido}} = Dt = 1,30 \text{ m}$$

$$Da = 0,33 * (1,30 \text{ m}) \Rightarrow Da = 0,42 \text{ m}$$

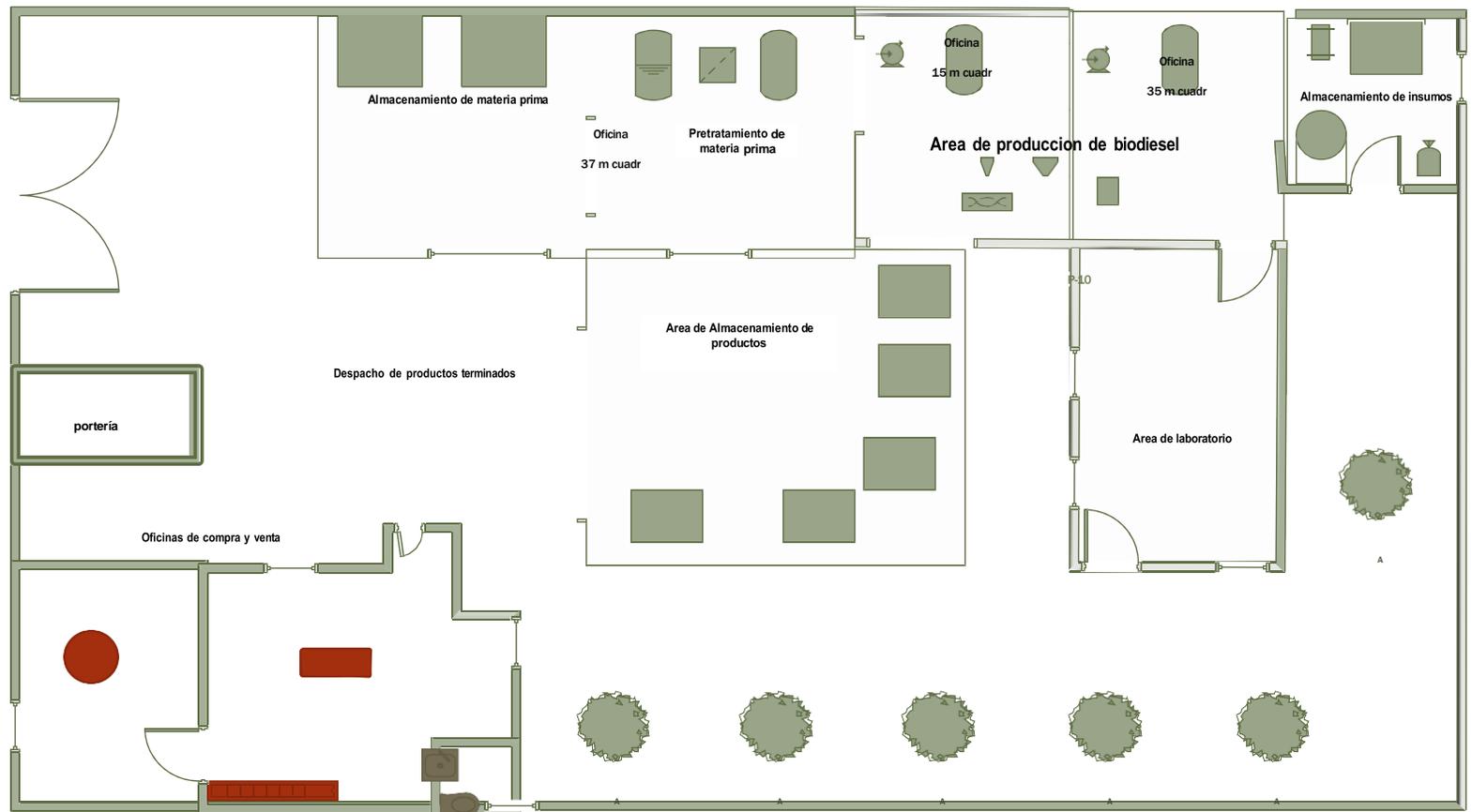
$$E = 0,42 \text{ m}$$

$$J = 0,1 * (1,30 \text{ m}) \Rightarrow J = 0,13 \text{ m}$$

$$f = 0,02 * (0,13) \Rightarrow f = 0,0026 \text{ m} \Rightarrow f = 0,26 \text{ cm} \Rightarrow f = 2,6 \text{ mm}$$

3.9. DISTRIBUCIÓN GENERAL DE LA PLANTA

Figura 3- 16 Diseño de la distribución de la planta



Fuente: Elaboración propia 2022.

En la figura, se observa las áreas de trabajo del proceso productivo para la generación de biodiesel a partir de aceite quemado, donde se definieron las siguientes áreas:

3.9.1. Área de almacenamiento de materia prima. -

El aceite de usado llega a las instalaciones de la planta en camiones, las cuales son encargadas de recoger la materia prima.

Esta área se trata de recipientes con capacidad necesaria para almacenar los aceites usados que llegara a la planta durante el día o semanas de acuerdo a la capacidad de los recipientes y de acuerdo a demanda de este recurso renovable que es fundamental para la elaboración del biodiesel. Esta área tiene una dimensión de 4 metros de largo 3 metros de ancho y 3 metros de alto.

3.9.2. Área de Pre tratamiento de materia prima. -

En esta área se procede a tratar el aceite usado eliminando todas las impurezas. Se debe realizar debido a que presenta muchas impurezas como partículas quemadas, restos de comida, etc, el proceso consiste en: filtración (porque la materia prima contiene sólidos suspendidos); desgomado (eliminar sustancias coagulables y separables por hidratación, que son eliminadas en forma de masa gomosa) y evaporación (El aceite al estar en contacto con agua, capta en su seno pequeñas burbujas de agua, es necesario la eliminación de esta agua contenida). Esta área tiene una dimensión de 6 metros de largo, 3 metros de ancho y 3 metros de alto.

3.9.3. Área de producción de biodiesel. -

En esta área se realiza las reacciones de proceso de obtención del producto: Reacción de transesterificación y separación de fases. Es la operación más importante de todo el proceso, ya que, en esta operación se forma el producto deseado, la cual se realiza el proceso en dos fases

- a) **Transesterificación, usando como catalizador el NaOH, la cual reacciona el aceite limpio con el metanol formando también metilésteres y obtener el producto deseado.**

- b) **Separación de fases, por la parte inferior del decantador se extrae la glicerina, dada su densidad mayor.**

Esta área tiene una dimensión de 12 metros de largo por 6 metros de ancho y 3 metros de alto

3.9.4. Almacenamiento de insumos. -

Esta área servirá para almacenar la materia prima (hidróxido de sodio y metanol), también se almacena herramientas que se utilicen en la planta procesadora, esta bodega tendrá estantes para mantener el orden y seguridad. Esta área tiene una dimensión de 4 metros de largo, 3 metros de ancho y 3 metros de alto

3.9.5. Área de laboratorio. -

En esta área se realizarán todos los análisis de control de calidad que sean necesarios para continuar con cada etapa de proceso para lograr obtener un producto de buena calidad y dentro de los parámetros por normas establecidos. Esta área tiene una dimensión de 4 metros de largo 3 metros de ancho y 3 metros de alto.

3.9.6. Área de almacenamiento de producto. -

Esta área consta de tanques de almacenamiento final del producto y sub producto obtenido. Desde esta área serán cargadas las cisternas para comercializar los productos finales. Esta área tiene una dimensión de 7 metros de largo, 4 metros de ancho y 3 metros de alto.

3.9.7. Área de oficinas de compra y venta. -

En esta área se encarga de comprar materia prima y vender los productos finales. Esta área tiene una dimensión de 4 metros de largo y 3 metros de ancho y 2 metros de alto.

3.10. SERVICIOS AUXILIARES

Los servicios auxiliares permiten y facilitan la actividad principal que se desarrolla en una planta. Entre ellos, podemos citar los relativos al personal (por ejemplo: vías de acceso, protección contra incendios, primeros auxilios, supervisión, seguridad, etc.), los relativos al material (por ejemplo: inspección y control de calidad) y los relativos a la maquinaria (por ejemplo: mantenimiento y distribución de líneas de servicios auxiliares).

Estos servicios aparecen ligados a todos los factores que toman parte en la distribución estimándose que aproximadamente un tercio de cada planta o departamento suele estar dedicado a los mismos.

Con gran frecuencia, el espacio dedicado a labores no productivas es considerado un gasto innecesario, aunque los servicios de apoyo sean esenciales para la buena ejecución de la actividad

principal. Por ello, es especialmente importante que el espacio ocupado por dichos servicios asegure su eficiencia y que los costes indirectos que suponen queden minimizados.

3.10.1. Medidas de seguridad planta de producción de biodiesel

Aunque el proceso de fabricación de biodiesel no es de los más complejos, existen aspectos que requieren especial atención de manera de garantizar una producción tanto operativa como ambientalmente segura.

Por otro lado, mientras que el objetivo evidente de todo productor debe ser la minimización de los errores, también es importante saber cómo tratar con estos errores y responder apropiadamente. Conocimiento, atención a la seguridad y planificación anticipada son los mejores enfoques para la prevención de accidentes graves.

En anexo F, se encuentran el manejo de las sustancias químicas, así como también en anexo G la seguridad e higiene para trabajar con las medidas de seguridad adecuada para el proceso.

3.10.2. Servicios relativos al Manejo de materiales

El movimiento físico de los materiales se hará de la siguiente manera:

Al llegar la materia prima a la planta, se realizará la descarga y almacenamiento de los materiales a través de carros de transporte, ahí permanecerán hasta que sean requeridos en el área de producción.

En la distribución en planta se deben destinar áreas en las que se puedan llevar a cabo todas las actividades concernientes a los servicios que requieren los materiales, como por ejemplo los controles de calidad y de producción. Así como también el control a las mermas rechazos y desperdicios. Es decir, se debe dejar espacio para la ubicación de maquinaria utilizada y especializada en estos controles y para el personal de verificación y encargado de realizar las operaciones respectivas.

El cómo se maneje el material puede determinar algunos requerimientos de la planta, la distribución de departamentos y el tiempo necesario para producir una unidad. Para un adecuado manejo de material las fábricas han estandarizado la mayoría de las cajas de embalaje final, logrando de esta forma poder hacer lotes de producto los cuales pueden ser dispuestos en pallets, permitiendo así, un fácil y seguro manejo de producto sin dañar la integridad física de éste. Los beneficios de este sistema de manejo de material recaen en que se produce una mejor utilización del espacio puesto.

3.10.3. Sistema de control

El sistema de control de calidad de la obtención de biodiesel, estará a cargo del departamento de control de calidad, que pertenece al área de producción.

El encargado del área de producción deberá realizar las siguientes funciones:

- Establecer los programas de producción a corto y largo plazo.
- Tener comunicación con el departamento de ventas para establecer las especificaciones del producto.
- Verificar que el personal realice eficientemente su trabajo, de lo contrario, establecer un programa de capacitación para cumplir con el programa de producción

- Mantener un control de los inventarios y realizar las requisiciones correspondientes.
- Verificar las normas exigidas para la producción de biodiesel, en lo que se refiere a la calidad de la materia prima y a las pruebas necesarias para la obtención del producto final.

Cabe hacer mención que las actividades a desarrollar en el área de producción no requieren un programa de capacitación específico, por la sencillez de las operaciones, únicamente se les informará sobre la utilización de la maquinaria y equipo, se les hará mención acerca de la importancia de mantener la higiene y calidad durante el proceso productivo de biodiesel.

3.10.4. Programa de capacitación para el personal

Al iniciar operaciones, es necesario establecer un programa de capacitación para el personal tanto operativo como administrativo, los trabajadores no siempre tienen experiencia en algún trabajo previo, por lo que, con la capacitación se mejora el desempeño en el trabajo.

La capacitación para los empleados debe encuadrarse en un proceso continuo que permita mejorar los conocimientos y habilidades del personal para que puedan enfrentar cualquier cambio que se presente dentro de la empresa.

Los objetivos principales que se buscan al establecer un programa de capacitación, son los siguientes:

- Perfeccionar los conocimientos y habilidades del trabajador en su actividad, así como proporcionarle información sobre la utilización de la maquinaria y equipo.
- Preparar al trabajador para que pueda desarrollar cada una de las actividades del proceso productivo y evitar tiempos ociosos.
- Prevenir los riesgos de trabajo.
- Incrementar la productividad de cada trabajador.
- Mejorar las aptitudes de los empleados de la empresa.

Por lo tanto, dentro de la empresa lo primero que se tiene que hacer, una vez contratado el personal, es realizar el proceso de inducción a la empresa, presentando la

información más importante de la misma, como los objetivos, procesos y posibilidades de desarrollo. Así mismo, se le muestra la ubicación de su puesto dentro de la estructura organizacional, asignando los recursos necesarios para el desarrollo de sus actividades.

Control de la calidad: Las consideraciones de calidad influyen de un modo directo sobre la distribución en cuanto a la situación de las áreas y equipo de verificación, y a la accesibilidad a las áreas de trabajo.

Una buena distribución debe proporcionar a la operación de inspección el espacio y lugar que necesite, es decir, se debe prever espacio, en las áreas de trabajo, para el personal de supervisión e inspectores, con el fin de que su labor garantice un porcentaje muy bajo o casi nulo de desechos, rechazos y de materiales defectuosos.

3.10.5. Servicios relativos a la maquinaria

Al momento de llevar a cabo una distribución, se debe reservar espacio físico para poder brindar a la maquinaria los servicios que esta requiere, tales como, el servicio de mantenimiento y el de distribución de líneas de servicio. Permittedose de esta manera que el personal de mantenimiento tenga un fácil y rápido acceso a los equipos y que los servicios de los que precisan las máquinas para cumplir con sus requerimientos puedan ser suministrados lo mejor posible y sin grandes traumatismos.

Mantenimiento: El mantenimiento requiere un espacio adicional, es decir, necesita de espacio de acceso a las máquinas, motores, bombas y todo el equipo restante de proceso y servicio.

Toda distribución operante debe tener en cuenta los hombres y elementos destinados a lubricar, reparar y ocasionalmente reemplazar equipos, maquinarias e instalaciones. Por lo tanto, el distribuidor deberá prever accesos para las operaciones de mantenimiento y reparación que se encuentren cerca de las máquinas.

3.11. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN, CPM Y GANTT

Id.	Nombre de tarea	Comienzo	Fin	Duración	mar. 2025			abr. 2025				may. 2025				jun. 2025				jul. 2025				ago. 2025				sep. 2025				oct. 2025				nov. 2025
					2/3	9/3	16/3	23/3	30/3	6/4	13/4	20/4	27/4	4/5	11/5	18/5	25/5	1/6	8/6	15/6	22/6	29/6	6/7	13/7	20/7	27/7	3/8	10/8	17/8	24/8	31/8	7/9	14/9	21/9	28/9	5/10
1	Adquisición del terreno	05/03/2025	07/04/2025	4,8s																																
2	Construcción de obra civil	10/04/2025	22/05/2025	6,2s																																
3	Adquisición de equipos, inmobiliaria, maquinaria e insumos	21/05/2025	01/07/2025	6s																																
4	Instalación de maquinaria y equipos	02/07/2025	31/07/2025	4,4s																																
5	Contratación y capacitación del personal	01/08/2025	19/08/2025	2,6s																																
6	Realización de pruebas	22/09/2025	07/10/2025	2,4s																																
7	Puesta en marcha	20/10/2025	10/11/2025	3,2s																																

Fuente: Elaboración propia 2024.

3.12. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA

El estudio de la organización es muy importante porque permite conocer aspectos relacionados con la figura jurídica que deberá adoptar la empresa, así como la organización técnica y administrativa que aporte los elementos necesarios para conseguir que la empresa logre una estructura completa para dar respuesta a las actividades propias de su función productiva.

A través de la estructuración técnica de la empresa, es posible establecer las líneas de autoridad y responsabilidad que deben existir entre los niveles jerárquicos tanto de las áreas operativas como administrativas.

3.12.1. Objetivos

Los objetivos que se persiguen con el estudio de organización, son los siguientes:

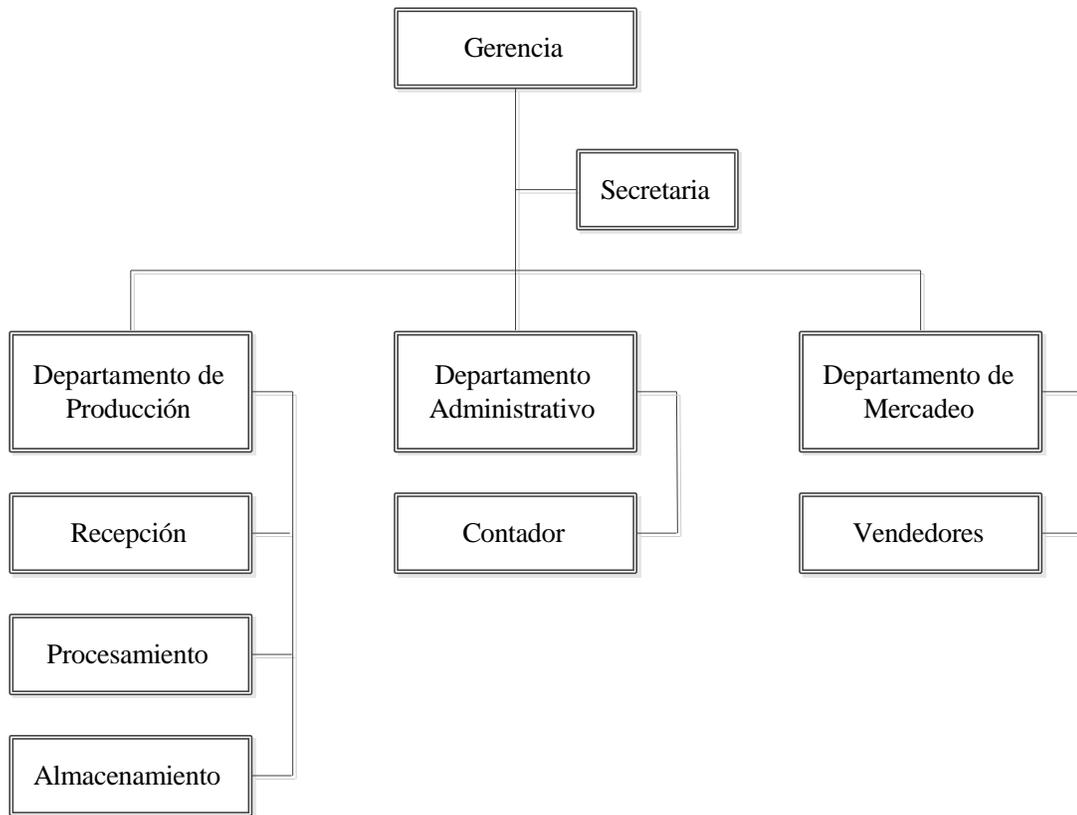
- Definir la estructura organizacional de acuerdo a las actividades y necesidades de la empresa estableciendo las funciones de cada puesto.
- Determinar la figura jurídica más conveniente para la empresa y el marco legal que regulará su funcionamiento.
- Determinar los requisitos necesarios para la puesta en marcha.

3.12.2. Estructura organizacional

El diseño de la estructura organizacional de la empresa se define a partir de los factores internos como son la capacidad de producción, así como las actividades de administración y ventas que se deben realizar dentro de la empresa para lograr la mayor eficiencia de los recursos económicos y alcanzar los objetivos planteados.

El personal de cada área trabajara de acuerdo a funciones específicas y hacia el loro de objetivos establecidos en dicha área acorde a los objetivos y metas generales.

Figura 3- 17: Estructura propuesta



Fuente: Elaboración propia. 2018

Las funciones genéricas que desarrollaran los diferentes puestos en la planta son las siguientes:

A. Gerente:

Tiene entre sus funciones la de sugerir las políticas de la planta y desarrollarlas, tomar decisiones y ejercer los controles de la producción. Además, es el coordinador de todas las funciones de la planta, comercialización de los diferentes productos y es el encargado de mantener la armonía entre los empleados de la empresa e implementar los planes de trabajos necesarios para el logro de los objetivos con un costo mínimo de tiempo, dinero y esfuerzo humano.

B. Secretaria:

Sera encargada de atender actividades que le encomiende el gerente, así como atender llamadas

telefónicas, hacer oficios, realizar la función de recepción.

Actividades diarias:

- Realizar diariamente cualquier función administrativa encomendada por la gerencia.
- Atender a los proveedores, clientes y público en general que requiera información.

Actividades periódicas:

- Elaborar los pedidos de materia prima proporcionados por el gerente de producción.
- Supervisar entradas de materia prima e insumos se realicen en el momento acordado por los proveedores y en la cantidad establecida.

C. Contador:

Será personal de apoyo a la gestión operativa de la planta y encarada de llevar los libros, elaborar los informes financieros, controlar y efectuar el inventario de productos e insumos.

D. Producción:

Contaría con un jefe de producción, quien sería el encargado de supervisar a los obreros en el área de recepción, producción y almacenamiento, quien tendría que ver de manera externa con los proveedores de la maquinaria.

Actividades diarias:

- Dirigir y controlar diariamente el proceso productivo, verificando desde la calidad de la materia prima hasta obtener un producto de acuerdo con las especificaciones establecidas por el área de ventas respecto a cantidad y preferencias del mercado.
- Llevar un control de la producción.
- Verificar que el producto terminado cumpla con los estándares de higiene y calidad exigidas.
- Revisar los reportes proporcionados por los obreros.

Actividades periódicas:

- Determinar la cantidad y frecuencia de los pedidos, acorde a las necesidades de producción.
- Establecer objetivos y metas de producción.

- Elaborar manuales de procedimiento del proceso productivo con el fin de que el personal conozca el orden de adición de los componentes, tiempos de mezclado y otros parámetros.
- Proporcionar periódicamente informes al Gerente sobre la calidad y cantidad de la producción.

E. Obreros:

Los obreros realizarán las actividades de producción dentro de la empresa. Estas actividades comprenden desde la recepción de la materia prima, procesamiento y almacenamiento del producto terminado. Sin embargo debido a la variedad de las operaciones, todo el personal deberá estar capacitado para realizar cualquier actividad de producción para evitar personal ocioso.

Actividades diarias:

Transportar diariamente la materia prima y los reactivos necesarios al área de producción para iniciar el proceso y realizar el pesado de los mismos en las cantidades adecuadas.

F. Mercadeo:

Contará con una persona responsable de la promoción, organización de las rutas de distribución, venta y recibo de los ingresos de ventas, colocar el producto en tiempo y lugar adecuado para que sea adquirido por los consumidores finales.

Actividades diarias:

- Dirigir y controlar diariamente las actividades de mercadotecnia y ventas, con el fin de mantener un control del mercado, en lo referente a la entrada de nuevos competidores y visualizar oportunidades de incursionar en nuevos mercados.
- Establecer estrategias de mercado para la colocación del producto.
- Llevar un control estadístico de las ventas con el fin de evaluar el desempeño del personal.

Actividades periódicas:

- Determinar nuevos canales de comercialización para lograr un incremento en las ventas.
- Proporcionar al departamento de producción las especificaciones del producto dependiendo de las preferencias del mercado.
- Buscar nuevos mercados.
- Presentar informes al Gerente sobre el desempeño del personal de su área y de los alcances logrados.

G. Vendedores:

Los vendedores serán los encargados de llevar el producto a los intermediarios, previa negociación con el encargado de mercadeo y de acuerdo a los puntos de venta establecidos por el gerente.

Actividades diarias:

- Llevar diariamente el producto a los intermediarios, en las cantidades adecuadas.
- Levantar pedidos.
- Llevar un control de la cantidad diaria del producto colocado en los puntos de venta.
- Proponer nuevas rutas para la comercialización del producto.

3.12.3. Impacto Ambiental

Un aspecto importante que se debe considerar en la evaluación de proyectos productivos, es el grado de contaminación que se genera con la utilización de la maquinaria y equipo, o bien el desperdicio que se origina en dicho proceso productivo.

Lo anterior implica realizar un análisis del impacto que tendrá la actividad de la empresa en el medio ambiente, pues se deben tomar las medidas necesarias para evitar daños al entorno dentro del cual se desenvolverá la empresa.

3.12.3.1. Análisis del impacto ambiental de la empresa

El análisis del impacto ambiental que se presenta, se centra en conocer la normatividad jurídica en materia de restauración y preservación del equilibrio ecológico y protección al medio ambiente, para determinar el daño que se genera al ambiente con la actividad de la empresa, a fin de tomar las medidas necesarias para reducir al mínimo el impacto

negativo.

La actividad desarrollada por la empresa se enfocará en la transformación de materias primas a productos terminados (producción de biodiesel), por lo que dicha actividad, se requerirá la utilización de maquinaria y equipo, así como los reactivos (sustancias químicas) necesarios en el proceso.

La generación de desechos y contaminantes que se originan en el proceso productivo y la afectación de la vegetación en la construcción de la planta, se analizan a continuación:

- La maquinaria y equipos utilizados en el proceso productivo como es el filtrador, los reactores de esterificación y transesterificación, bombas, evaporadores, funcionan a base de energía eléctrica, lo que implica la ausencia de contaminantes que puedan afectar los ecosistemas, sin embargo los contaminantes que se generaran con su utilización, no son excesivos.
- El ruido que emitirán las maquinas durante el proceso productivo no es considerable.
- En el proceso productivo no se generará ningún tipo de desperdicio y la basura que se origine se desecará adecuadamente.
- En lo que se refiere a la sobreexplotación de recursos se prevé que no exista, pues el consumo de energía eléctrica será únicamente la necesaria para operar la maquinaria y el agua que se requiere para lavar el equipo utilizado en el proceso y para oficinas, se tomara del servicio público y se desecara adecuadamente en la red pública de drenaje.

3.12.3.2. Medidas de prevención

Sin embargo, la empresa tomará algunas medidas para aportar a la conservación del medio ambiente como:

- Cumplir al máximo las exigencias legales sobre medio ambiente, salud y seguridad. Es decir, la empresa contará con licencias de funcionamiento adecuadas, proveerá capacitación a los empleados, controlará y reparará el equipamiento en forma regular y tomará las medidas necesarias para proteger al medio ambiente y a los empleados de las emisiones tóxicas.
- Cuantificar los recursos que consume la empresa (energía, suministros, materia prima) y lo

que desecha (restos de productos terminados, embalaje, energía, emisiones). Es decir, controlar cuánto se invierte en comprar, manipular, almacenar y disponer el material de desecho. Por ejemplo, se puede contar y pesar las bolsas de residuos que desecha la empresa, semanal y mensualmente, o controlar las facturas de energía y servicios.

- Reforzar habitualmente las intenciones, por parte de la empresa, de respetar al medio ambiente en cuanto al diseño, producción y distribución de sus productos y servicios.
- Comprometer a la empresa en el cumplimiento total de la ley y a ir más allá de sus obligaciones, toda vez que sea posible. Es esencial la participación del empleado en una iniciativa ambientalista exitosa.
- Conseguir el compromiso de los empleados implica tanto la comprensión de los asuntos medioambientalistas como el conocimiento específico del uso de los recursos de la empresa y su impacto en el ambiente.
- Juntar un grupo de empleados para promover la consciencia y buena práctica ambientalista en el trabajo. Este equipo puede liderar las iniciativas para la compra de productos reciclados, educar otros empleados y monitorear el desempeño ambiental en los departamentos.
- Utilizar menos productos y materias primas en la oficina central y en las operaciones administrativas.
- Comenzar reduciendo el uso del papel. Establecer una amplia política empresarial de fotocopiado en ambos lados del material impreso para la redacción de documentos en borrador y enviar informes por correo electrónico en vez de imprimir copias.
- Establecer un sistema de reciclado dentro del lugar de trabajo para papel, plástico, aluminio y vidrio. Recordar que el material desperdiciado equivale a dinero desperdiciado.
- Examinar los procesos de fabricación en la búsqueda de oportunidades para aumentar la eficacia en el uso del material, repensar el embalaje del producto, considerar la producción de compuestos de residuos orgánicos.
- Comprar productos reciclados, restaurados o re-acondicionados, cuando éstos compitan favorablemente en precio, rendimiento y calidad con los nuevos.
- Toda vez que sea posible use un criterio específico por ejemplo que las compras de papel contengan material con un mínimo del 50% de reciclado post-consumo.

- aconsejar a los empleados, cuadrillas de mantenimiento y otros que apaguen luces, computadoras y otros artefactos cuando no se usan.

3.13. Requerimientos

Los recursos a utilizar son:

- Maquinaria y Equipos

Tabla III- 17: DETALLE DE MAQUINARIA Y EQUIPOS

Ítem	Descripción	Unid	Cant	Precio Unitario (Bs)	Valor Total (Bs)
1	Tanque de recepción de aceite residual Capacidad 5.000 l Dimensiones 1.350 mm de ancho x 2.450 mm de alto Material Acero inoxidable AISI 304 aleación Diámetro 1.350 mm Altura total con base 2.450 mm Accesorios codo de 90° codo cachimba llave de paso T codo de 45°	Pza.	1	14.500,00	14.500,00
2	Caldero térmico semi industrial Capacidad 2.000 l Material acero inoxidable con una capa de 80 mm de lana de vidrio de alta densidad Presión máxima 6 bar Características Cámara de combustión presurizada haz de tubos tubulares puerta frontal conexión de salida de flujo calor y entrada de retorno cuerpo de acero, carcasa y controles satélite. Gasto calorífico de 1.336 a 2.054 Kw Potencia útil de 1.229 a 1.890 Kw Rendimiento a 92,01- 93,76 %	Pza.	1	5.000,00	5.000,00

	útil Capacidad total de la caldera 1.620 l Perdidas de carga en agua a 10°C, 100 mbar Perdidas de carga en humo 7 mbar Presión máxima de ejercicio 6 bar Peso en seco 2.850 kg				
3	Bomba Caudal 50 l / h Temperatura máxima 40 °C Cuerpo de la bomba Fundición De Hierro Camisa Acero Inoxidable AISI 304 Turbinas Acero Inoxidable AISI 304 Difusores Policarbonato Con Fibra De Vidrio Eje Acero Inoxidable AISI 316 Cierre Mecánico Cerámica/ Grafito Tapones Latón	Pza.	3	300	900
4	Filtro chulo para impurezas de aceite Racores por Soldar Odf 3/8 in Superficie de filtración 16 cm ² Filtración 150 µm Largo: L1 70 mm Altura: L2 58 mm Ancho: L3 33 mm Presión Máxima 46 Bar Presión de servicio 15 Bar Temperatura máxima 100°C Temperatura Mínima -40°C Categoría Ce Art4s3	Pza.	1	4.207,00	4.207,00
5	Tanque para desgomado Capacidad 600 l	Pza.	1	14.500,00	14.500,00

	Dimensiones 1.350 mm de Ancho X 1.030 mm de Alto Material Acero Inoxidable AISI 304 Aleación Peso 2400 kg Diámetro 850 mm Altura total con base 1.030 mm Conexión de ingreso de aceite ¾ in Conexión de salida de aceite ¾ in Conexión para drenaje de sedimentos ¾ in Ventilación de aire 1 in				
6	Tanque separador de fases Capacidad 2.000 l Dimensiones 300x900 mm Dos secciones de Separación Tipo Vertedero Ajustable Y Tipo Deposito Ajustable Sensor de temperatura -40-150°C Sensor Caudal 0-100 l por Minuto Interruptores 2 En Conexión Válvulas 2 Conectadas Válvulas de regulación 3 Conectadas	Pza.	1	16.000,00	16.000,00
7	Evaporador de columna mojada Capacidad 2.000 l Característica Succión al Compresor Cámara de Cambio de Fase Válvula De Flotador Mezcla Liquido-Vapor Humedad de la cámara 90%	Pza.	1	20.000,00	20.000,00
8	Reactor de transesterificación	Pza.	1	28.000,00	28.000,00
9	Motor para agitador del reactor de 1/2 HP	Pza.	1	69.100,00	69.100,00

10	Tanque de almacenamiento glicerina bruta Capacidad 1.000 l Material acero inoxidable AISI 304 aleación Diámetro 1350 mm altura total con base 2450 mm Conexión de ingreso de aceite ¾ in Conexión de salida de aceite 1 in Conexión para drenaje de sedimentos 1 in Ventilación de aire 1 in Accesorios codo de 90° codo cachimba llave de paso T codo de 45°	Pza.	1	14.500,00	14.500,00
11	Tanque de lavado de 2.000 l Capacidad 2.000 l Dimensiones 1.350 mm de ancho x 2.450 mm de alto Material acero inoxidable AISI 304 aleación Peso 500 kg Diámetro 1.350 mm Altura total con base 2.450 mm Conexión de ingreso de aceite ¾ in Conexión de salida de aceite 1 in Conexión para drenaje de sedimentos 1 in Ventilación de aire 1 in Accesorios codo de 90° codo cachimba llave de paso	Pza.	3	7.500,00	22.500,00

	T codo de 45°				
12	Tanque de almacenamiento de metanol 500 l Capacidad 2.000 l Dimensiones 1.350 mm de ancho x 2.450 mm de alto Material acero inoxidable AISI 304 aleación Diámetro 1.350 mm altura total con base 2.450 mm Conexión de ingreso de aceite ¾ in Conexión de salida de aceite 1 in Conexión para drenaje de sedimentos 1 in Ventilación de aire 1 in Accesorios codo de 90° codo cachimba llave de paso T codo de 45°	Pza.	1	7.500,00	7.500,00
13	Tanque de glicerina pura 500 l Capacidad 2.000 l Dimensiones 1.350 mm de ancho x 2.450 mm de alto Material acero inoxidable AISI 304 aleación Diámetro 1.350 mm Altura total con base 2.450 mm Conexión de ingreso de aceite ¾ in Conexión de salida de aceite 1 in Conexión para 1 in	Pza.	1	7.500,00	7.500,00

	drenaje de sedimentos Ventilación de aire 1 in Accesorios codo de 90° codo cachimba llave de paso T codo de 45°				
14	Tanque de almacenamiento de biodiesel obtenido (5.000 l) Capacidad 5.000 l Dimensiones 1.350 mm de ancho x 2.450 mm de alto Material acero inoxidable AISI 304 aleación Diámetro 1.350 mm Altura total con base 2.450 mm Accesorios codo de 90° codo cachimba llave de paso T codo de 45°	Pza.	1	14.500,00	14.500,00
15	Cañería de 2 in	M	500	7	3.500,00
Total, Bs					242.207,00

Fuente: Elaboración Propia, 2024

- Muebles y enseres

Tabla III- 18: DETALLE DE MUEBLES Y ENSERES

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs)	Valor Total (Bs)
1	Sillas de aluminio	Pza	6	60	360
2	Mesas redondas de aluminio	Pza	3	200	600
3	Equipos computación	Pza	2	3000	6000
4	Teléfono fax	Pza	1	2500	2500
5	Contenedor de basura	Pza	6	30	180
6	Extintor (10 lb)	Pza	2	500	1000
7	Estante	Pza	1	800	800
Total, Bs					11.440,00

Fuente: Elaboración Propia, 2024

- **Detalle de Obras Civiles e Instalaciones**

Tabla III- 19: DETALLE OBRAS CIVILES E INSTALACIONES

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs)	Valor Total (Bs)
1	Terreno	m ²	210	150	31500
2	Construcción de los ambientes	m ²	100	250	25000
3	Cerrado de terreno	m ²	210	50	10500
4	Montaje de maquinaria y equipos	Pza	17	150	2550
				Total, Bs	38.050,00

Fuente: Elaboración Propia, 2024

- **Detalle de Vehículos**

Tabla III- 20: DETALLE DE VEHICULOS

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor Unitario (Bs)	Valor Total (Bs)
1	Camioneta	1	35000	35000
Total Bs.				35000

Fuente: Elaboración Propia, 2024

CAPITULO IV

ASPECTOS ECONOMICOS DEL

PROYECTO

4.1. INVERSIÓN DEL PROYECTO

4.1.1. Estructura de la inversión.

La estructura de inversión es el reparto estratégico de dinero de inversión a diferentes entidades administrado a través de préstamos, negocios conjuntos, compra de empresas financiadas mediante de adquisiciones de deuda, deudas participativas y obligaciones convertibles.

Para realizar un plan estratégico económico del proyecto es necesario realizar la estimación de costos y calcular indicadores. Para determinar si el proyecto es factible económicamente.

En la siguiente tabla se muestra la inversión total requerida:

Tabla IV- 1: INVERSION TOTAL REQUERIDA (En Bs)

Nº	DETALLE	VALOR
1	Inversión (a+b)	1.171.780,46
	a) Inversión Fija	616.647,00
	-Maquinaria y Equipos	242.207,00
	-Terreno + Obras Civiles-Montaje (tabla b)	35.500,00
	- Mano de Obra Directa e Indirecta	292.500,00
	-Muebles y Enseres	11.440,00
	-Vehículos	35.000,00
	b) Inversión Diferida	555.133,46
	-Gastos de Organización	4242
	-Detalle de Mano de Obra	7423,5
	- Materiales Directos e Indirectos	26.337,00
	-Insumos Generales y Materias Primas	490.440,96
	-Montaje de Instalación	2550
	- Montaje e Instalación de Equipos	14140
	- Imprevistos	10000
2	Capital de Trabajo	120.930,65
	Inversión Total Requerida (1+2)	1.292.711,11

Fuente: Elaboración Propia. 2024

4.1.2. Estimación de costos.

Para estimar los costos del proyecto es necesaria la cotización de los materiales e insumos necesarios para el proyecto.

Como también se evaluará los costos de mano de obra que se encargaran de poner en marcha el proyecto, estos son profesionales y técnicos que se encargan de realizar el control y el funcionamiento de distintos equipos y su proceso.

4.1.3. Costos directos e indirectos.

Los costos directos son los que se asocian con el producto de una forma muy clara que no necesita de un reparto, como ser costos de mano de obra directa y la materia prima con al cual se fabrica el producto es decir el biodiesel.

Mientras los costos indirectos no son directos al producto ni tampoco al centro del proceso de producción, en donde es necesaria un reparto de costes.

Vemos en el siguiente cuadro los costos anuales de producción en 15 años, y reflejan la repartición de costos directos e indirectos.

Tabla IV- 2: COSTOS ANUALES DE PRODUCCIÓN

Nº	Detalle	Producción														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Costos Totales (a+b)	913.195	910.355	907.515	904.675	901.835	898.995	896.155	893.315	890.475	887.635	884.795	881.955	879.115	876.275	873.435
	a) Costos Fijos	120.254	117.414	114.574	111.734	108.894	106.054	103.214	100.374	97.534	94.694	91.854	89.014	86.174	83.334	80.494
	Depreciacion	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045
	Amort. Inver. Dif.	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009
	Costo Finacier	42.600	39.760	36.920	34.080	31.240	28.400	25.560	22.720	19.880	17.040	14.200	11.360	8.520	5.680	2.840
	Otros	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600
	b) Costos Variables	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941
	Mat. Prima Directa	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441
	Mano de Obra Dir.	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500
	Otros	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000

Fuente: elaboración propia, 2024

4.1.4. Capital de trabajo.

El capital de trabajo considera aquellos recursos que requiere la empresa para poder operar. En este sentido el capital de trabajo es lo comúnmente conocemos como activo corriente. La empresa para poder operar requiere de recursos para cubrir necesidades de insumos, materia prima, mano de obra reposición de activos fijos, etc. Estos recursos deben estar disponibles a corto plazo para cubrir necesidades de la empresa a tiempo, se estima 90 días.

Tabla IV- 3: CAPITAL DE TRABAJO NECESARIO (BS)

CALCULO DE CAPITAL DE TRABAJO	
Costo totales Bs	490.440,96
Días del año	365
Nº día de ciclo productivo	90
Capital de trabajo	120.930,65

Fuente: Elaboración propia, 2024

El capital de trabajo tiene relación directa con la capacidad de la empresa que genera flujo de caja.

$$\text{Capital de trabajo} = \frac{\text{Costo Total año}}{365 \text{ días/año}} * N^{\circ} \text{ días ciclo productivo}$$

El flujo de caja o efectivo que la empresa genere será el que se encargue de mantener o de incrementar el capital de trabajo.

La capacidad que tenga la empresa de generar efectivo con una menor inversión o una menor utilización de activos, tiene gran efecto en el capital de trabajo. Es el flujo de caja generado por la empresa el que genera los recursos para operar la empresa, para reponer los activos, para pagar la deuda y para distribuir utilidades a los socios.

4.1.5. Costos de producción.

Los costos de producción o también llamados costos de operación, son los gastos necesarios para mantener el proyecto a flote. La diferencia entre el ingreso (por ventas y otras entradas) y el costo de producción indican el beneficio bruto. El destino económico de la empresa está asociado con el ingreso y el costo de producción de los bienes vendidos.

El costo de producción tiene dos características opuestas, la primera es que para producir bienes es necesario generar un costo, la segunda característica es que los costos deberían ser mantenidos tan bajos como sea posible y eliminados los innecesarios. Esto no significa el corte o la eliminación de los costos indiscriminadamente.

Tabla IV- 4: DETALLE DE INSUMOS GENERALES Y MATERIAS PRIMAS

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario(Bs)	Valor Total (Bs)
Materia Prima					
1	Metanol puro	L	3.434,88	122,00	419.055,36
2	Hidróxido de sodio	Kg	160,32	30,00	4.809,60
3	Aceite o grasa vegetal	L	28.800,00	1,60	46.080,00
5	Agua	m3	4.800,00	3,01	14.448,00
6	Energía	Kwh	1.209,60	5,00	6.048,00
				Total	490.440,96

Fuente: Elaboración Propia, 2024. Con datos consultados de tabla I-22, COSSALT y SETAR.

Los costos de producción pueden dividirse en dos grandes categorías: costos directos o variables, que son proporcionales a la producción, como la materia prima; y los costos indirectos, también llamados fijos que son independientes de la producción.

Tabla IV- 5: COSTOS DE MANO DE OBRA

Ítem	Descripción	Unid.	Cant.	Precio Unit.(Bs)	Valor Total (Bs)
1	Encargado de planta	mes	13	2.500,00	32.500,00
2	Enc. De laboratorio y control de calidad	mes	13	2.500,00	32.500,00
3	Personal Operario (5 empleados)	mes	65	2.500,00	162.500,00
4	Secretaria	mes	13	2.500,00	32.500,00
5	Mecánico	mes	13	2.500,00	32.500,00
				Total	292.500,00

Fuente: Elaboración propia, 2024

4.1.6. Costos fijos y variables.

Los costos fijos son aquellos ligados a las características del proyecto y no depende del volumen de producción o unidades producidas, es decir permanece invariable cualquiera sea el nivel de ventas alcanzado.

Mientras los costos variables, dependen del volumen de producción o unidades producidas entonces los costos variables serán también mayores.

Se refieren a los costos como materia prima, mano de obra y costos que tienen relación o dependientes de los costos de producción

En la siguiente tabla podemos observar los costos de producción para producir un litro de aceite, los gastos de los diferentes insumos que son necesarios.

Tabla IV- 6: COSTOS VARIABLES Y COSTOS FIJOS

Nº	Detalle	Producción														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Costos Totales (a+b)	913.195	910.355	907.515	904.675	901.835	898.995	896.155	893.315	890.475	887.635	884.795	881.955	879.115	876.275	873.435
	a) Costos Fijos	120.254	117.414	114.574	111.734	108.894	106.054	103.214	100.374	97.534	94.694	91.854	89.014	86.174	83.334	80.494
	Depreciación	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045
	Amort. Inver. Dif.	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009
	Costo Financiero	42.600	39.760	36.920	34.080	31.240	28.400	25.560	22.720	19.880	17.040	14.200	11.360	8.520	5.680	2.840
	Otros	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600
	b) Costos Variables	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941
	Mat. Prima Directa	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441
	Mano de Obra Dir.	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500
	Otros	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000

Fuente: Elaboración propia 2024.

4.1.7. Costo unitario del producto.

Cuando ya se han determinado los costos totales en que se obtendrá el biodiesel, es necesario establecer el costo unitario del producto. Este costo unitario es el del producto, el cual cambia en relación al nivel de producción. Para producir intervienen muchos gastos, por eso se clasifica en fijos y variables, de acuerdo a la relación que tengan con el volumen de producción.

Entonces el costo total se puede expresar de la siguiente manera:

$$CT=CF+CV$$

Donde:

CT= costo total

CF= costo fijo

CV=costo variable

Y si dividimos el costo variable total entre el número de unidades producidas, obtendremos el costo variable unitario, así:

$$CV_u = \frac{CVT}{n}$$

Donde:

CVu=costo variable unitario

CVT= costo variable total

n= total de unidades producidas

Con esto la ecuación anterior se puede re expresar de la siguiente forma:

$$CT=CF+CVu*(n)$$

Luego el costo unitario será:

$$CU = \frac{CT}{n} \text{ ó } CU = \frac{CF + CV}{n}$$

Tabla IV- 7: COSTO UNITARIO DEL PRODUCTO

Año	Costo Total CT= CF + CV (A)	Cantidad Total QT (B)	Costo Unitario de Produccion C.U.P. A/B
1	913.194,73	170.200,80	5,37
2	910.354,73	187.220,88	4,86
3	907.514,73	224.665,06	4,04
4	904.674,73	269.598,07	3,36
5	901.834,73	269.598,07	3,35
6	898.994,73	269.598,07	3,33
7	896.154,73	269.598,07	3,32
8	893.314,73	269.598,07	3,31
9	890.474,73	269.598,07	3,30
10	887.634,73	269.598,07	3,29
11	884.794,73	269.598,07	3,28
12	881.954,73	269.598,07	3,27
13	879.114,73	269.598,07	3,26
14	876.274,73	269.598,07	3,25
15	873.434,73	269.598,07	3,24

Fuente: Elaboración propia 2024

Se determina el precio de venta inicial de la siguiente manera:

$$P_v = CUP (1 + h)$$

Siendo h igual al porcentaje de utilidad, dato estimado como ganancia en el primer año. Con un porcentaje de utilidad de solo 10% como mínimo se calcula el siguiente precio de venta.

$$P_v = 5,37 * (1 + 0,1)$$

$$P_v = 5,90 \approx 6 Bs$$

Este costo es elevado en comparación al diésel oíl subvencionado que se comercializa, pero vemos que es escaso. Es por esto que el Gobierno implementa este recurso renovable que según informe de ANH (Agencia Nacional de Hidrocarburos) lanzan el Diésel ULS que es biodiesel mezcla con diésel oíl con un precio de 6,73 bs/l.

4.1.8. Estimación de ingresos.

En un enfoque de costo e ingreso, el objetivo de esta evaluación es determinar si los beneficios que se obtienen son mayores que los costos involucrados. Para ello es necesario identificar, medir y valorar los costos y beneficios del presente proyecto. Los ingresos del proyecto hacen aumentar las utilidades del proyecto y en consecuencia debe ir antes de ser impuesto el flujo de caja.

Con el precio de venta calculado de 5,90 Bs. se realizará el cálculo de ingresos anuales:

Tabla IV- 8: INGRESOS ANUALES PROYECTADOS

Año	Producción "Q"	Precio de Venta "P"	Ingreso Total I= Q x P
1	170.200,80	5,90	1.004.514,21
2	187.220,88	5,90	1.104.965,63
3	224.665,06	5,90	1.325.958,75
4	269.598,07	5,90	1.591.150,50
5	269.598,07	5,90	1.591.150,50
6	269.598,07	5,90	1.591.150,50
7	269.598,07	5,90	1.591.150,50
8	269.598,07	5,90	1.591.150,50
9	269.598,07	5,90	1.591.150,50
10	269.598,07	5,90	1.591.150,50
11	269.598,07	5,90	1.591.150,50
12	269.598,07	5,90	1.591.150,50
13	269.598,07	5,90	1.591.150,50
14	269.598,07	5,90	1.591.150,50
15	269.598,07	5,90	1.591.150,50

Fuente: Elaboración propia, 2024

En esta tabla se puede observar que los ingresos dependen también del porcentaje de crecimiento de materia prima que aproximadamente el 10 % según las encuestas, con este dato se da el crecimiento aproximado de producción de biodiesel con la capacidad de trabajo calculada en el balance de materia.

4.1.1. Determinación de utilidades.

La utilidad es lo que se obtiene una vez descontados los egresos de los ingresos, es el resultado final de un periodo de operaciones mayores a un año.

Los ingresos corresponden a la venta del producto a obtener, el biodiesel, a partir del año de producción o funcionamiento del presente proyecto.

Los costos totales se refieren a los costos de producción que se incurre en toda la fase del proceso productivo. En este rubro se considera la depreciación, inversiones diferidas, costos financieros y demás.

La diferencia entre ingresos y costos totales da como resultado la utilidad bruta, posteriormente se deducen los impuestos establecidos por ley como IT y IVA.

La diferencia de la utilidad bruta y los impuestos, da la utilidad neta.

Tabla IV- 9: UTILIDADES NETAS

Nº	Detalle	Producción														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Ingresos	1.004.514	1.104.966	1.325.959	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151
	Ventas	1.004.514	1.104.966	1.325.959	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151	1.591.151
2	Costos Totales (a+b)	983.311	910.355	907.515	904.675	901.835	898.995	896.155	893.315	890.475	887.635	884.795	881.955	879.115	876.275	873.435
	a) Fijos	190.370	117.414	114.574	111.734	108.894	106.054	103.214	100.374	97.534	94.694	91.854	89.014	86.174	83.334	80.494
	Depreciación	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343
	Inversión Diferida	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027
	Costo Financiero	42.600	39.760	36.920	34.080	31.240	28.400	25.560	22.720	19.880	17.040	14.200	11.360	8.520	5.680	2.840
	Otros Ingresos	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400
	b) Variables	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941
	Materia prima	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441
	Mano de O.D.	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500
	Otros Ingresos	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
3	Utilidad Bruta (1-2)	21.203	194.611	418.444	686.476	689.316	692.156	694.996	697.836	700.676	703.516	706.356	709.196	712.036	714.876	717.716
4	Impuestos	3.393	31.138	66.951	109.836	110.291	110.745	111.199	111.654	112.108	112.563	113.017	113.471	113.926	114.380	114.835
5	Utilidad Neta Anual(3-4)	17.811	163.473	351.493	576.640	579.025	581.411	583.796	586.182	588.568	590.953	593.339	595.724	598.110	600.496	602.881

Fuente: elaboración propia, 2024

4.2. FINANCIAMIENTO

4.2.1. Necesidad de capital.

Para poner en marcha un proyecto que ya se haya analizado los costos e ingresos es necesario calcular el capital necesario, y si no se tiene el monto entre los socios se planifica un crédito.

Tabla IV- 10: INVERSIÓN TOTAL Y FINANCIAMIENTO

Nº	DETALLE	VALOR
1	Inversión (a+b)	1.171.780
	a) Inversión Fija	616.647
	-Maquinaria y Equipos	242.207
	-Terreno + Obras Civiles - Montaje	35.500
	- Mano de Obra Directa e Indirecta	292.500
	-Muebles y Enseres	11.440
	-Vehículos	35.000
	b) Inversión Diferida	555.133
	-Gastos de Organización	4.242
	-Detalle de Mano de Obra	7.424
	- Materiales Directos e Indirectos	26.337
	-Insumos Generales y Materias Primas	490.440
	-Montaje de Instalación	2.550
	- Montaje e Instalación de Equipos	14.140
	- Imprevistos	10.000
2	Capital de Trabajo	120.931
	Inversión Total Requerida (1+2)	1.292.711

Fuente: Elaboración propia, 2024

4.2.2. Fuentes de financiamiento.

Realizando una investigación interna en entidades como los bancos donde es factible encontrar un préstamo a 6 % de interés, se obtiene los siguientes cálculos:

Debido a la cantidad se pedirá un préstamo de

710.000

Tabla IV- 11: PLAN DE PAGOS (En Bs.)

Año	Saldo Capital	Interés "I"	Amortización "A"	Total (I+A)
1	710.000	42.600	-	42.600
2	710.000	42.600	30.504	73.104
3	679.496	40.770	32.334	73.104
4	647.163	38.830	34.274	73.104
5	612.889	36.773	36.330	73.104
6	576.559	34.594	38.510	73.104
7	538.049	32.283	40.821	73.104
8	497.228	29.834	43.270	73.104
9	453.958	27.237	45.866	73.104
10	408.092	24.486	48.618	73.104
11	359.474	21.568	51.535	73.104
12	307.939	18.476	54.627	73.104
13	253.312	15.199	57.905	73.104
14	195.407	11.724	61.379	73.104
15	134.028	8.042	65.062	73.104
16	68.966	4.138	68.966	73.104
		429.153	710.000	1.139.153

Fuente: elaboración propia, 2024

El crédito que se necesita para cubrir el capital necesario para poner en marcha la producción de biodiesel es de 710.000 Bs. El crédito tiene un 6% de interés y un año de gracia. Por lo que no existe amortización en el primer año.

$$M = k \left[\frac{(1+i)^n \times i}{(1+i)^n - 1} \right]$$

M= 73.104

4.2.3. Amortizaciones.

El término de amortización para referirnos a un activo tiene que ver la depreciación de activos. La compra de un buen ya sea equipos, construcción de estructuras o edificios, compra de alguna herramienta útil para la instalación y mejora de un proyecto. Genera un gasto y esto afecta a la cuenta de resultados.

Tabla IV- 12: CÁLCULO DE LA DEPRECIACIÓN

Nº	DEPRECIACIONES	VALOR Bs	AÑOS VIDA ÚTIL	% D. ANUAL	D. ANUAL Bs
1	Maquinaria y equipos	242.207	10	0,1	24.220,7
2	Vehículos	35.000	10	0,1	3.500
3	Equipos de computación	6.000	10	0,1	600
4	Edificaciones	25.000	10	0,1	2.025
Depreciación					30.343

Fuente: Elaboración propia 2024.

Pero los materiales comprados pueden durar unos años, por esto no repercute a un año si no que el gasto realmente afecta a varios años. Por tanto, lo que se hace es dividir el gasto en varios años y se repercute en todos los años de vida útil del material o bien comprado esto se conoce como amortización. n el caso del presente proyecto tenemos los gastos en edificios y estructuras; muebles y enseres; maquinaria y equipo; herramientas útiles y equipos de transporte.

En la tabla se observa la depreciación de los materiales comprados con respecto al costo de inversión estimado, en un periodo de diez años, tomando en cuenta un factor de depreciación anual reglamentado en el país .

$$V.R = VI \left(1 - \frac{t}{n} \right)$$

t= Tiempo de uso de equipo
n= Vida Útil del equipo(s)
VI= Valor Inicial

Para así calcular el costo total de producción tomando en cuenta la depreciación de los activos en el periodo de 10 años.

Tabla IV- 13: FLUJO DE FONDOS

N	Detalle	Inst.	Producción														
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Fuentes	1.292.711	159.181	304.843	492.863	718.010	720.395	722.781	725.167	727.552	729.938	732.323	734.709	737.095	739.480	741.866	913.623
	Aporte Propio	590.332															
	Prestamos	702.379															
	Utilidad Neta		17.811	163.473	351.493	576.640	579.025	581.411	583.796	586.182	588.568	590.953	593.339	595.724	598.110	600.496	602.881
	Depreciación		30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343	30.343
	Amort. Inversión Dif.		111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027	111.027
	Valor Residual																48.441
	Capital de Trabajo																120.931
2	Usos	1.171.780	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333
	Inversión Fija	616.647															
	Inversión Diferida	555.133															
	Capital de Trabajo	-															
	Amortización		47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333	47.333
3	Flujo Actual (1-2)		111.847	257.510	445.530	670.676	673.062	675.448	677.833	680.219	682.604	684.990	687.376	689.761	692.147	694.532	866.290
4	Flujo Acumulado		111.847	369.357	814.887	1.485.563	2.158.625	2.834.073	3.511.906	4.192.125	4.874.729	5.559.719	6.247.095	6.936.856	7.629.003	8.323.535	9.189.825

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla IV- 14: COSTOS DE PRODUCCIÓN TOTAL

Nº	Detalle	Producción														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Costos Totales (a+b)	913.195	910.355	907.515	904.675	901.835	898.995	896.155	893.315	890.475	887.635	884.795	881.955	879.115	876.275	873.435
	a) Costos Fijos	120.254	117.414	114.574	111.734	108.894	106.054	103.214	100.374	97.534	94.694	91.854	89.014	86.174	83.334	80.494
	Depreciación	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045	39.045
	Amort. Inver. Dif.	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009	37.009
	Costo Financiero	42.600	39.760	36.920	34.080	31.240	28.400	25.560	22.720	19.880	17.040	14.200	11.360	8.520	5.680	2.840
	Otros	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600
	b) Costos Variables	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941	792.941
	Mat. Prima Directa	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441	490.441
	Mano de Obra Dir.	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500	292.500
	Otros	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000

Fuente: Elaboración propia 2024.

CAPITULO V

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

5.1. DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE EQUILIBRIO.

El punto de equilibrio hace referencia al nivel de ventas donde los costos fijos y variables se encuentran cubiertos. Esto supone que la empresa en su punto de equilibrio, tiene un beneficio que es igual a cero, no gana dinero, pero tampoco pierde.

$$P.E. = \frac{\text{Costo Fijo Total}}{1 - \frac{\text{Costo Variable Total}}{\text{Ventas Totales}}}$$

Tabla V- 1.- Cálculo del punto de equilibrio contable (en Bs)

AÑO	COSTOS VARIABLES	COSTOS FIJOS	COSTOS TOTALES	VENTAS TOTALES	PUNTO DE EQUILIBRIO
1	792.941	120.254	913.195	1.004.185	571.648
2	792.941	117.414	910.355	1.104.603	416.142
3	792.941	114.574	907.515	1.325.524	285.158
4	792.941	111.734	904.675	1.590.629	222.803
5	792.941	108.894	901.835	1.590.629	217.140
6	792.941	106.054	898.995	1.590.629	211.476
7	792.941	103.214	896.155	1.590.629	205.813
8	792.941	100.374	893.315	1.590.629	200.150
9	792.941	97.534	890.475	1.590.629	194.487
10	792.941	94.694	887.635	1.590.629	188.824
11	792.941	91.854	884.795	1.590.629	183.161
12	792.941	89.014	881.955	1.590.629	177.498
13	792.941	86.174	879.115	1.590.629	171.835
14	792.941	83.334	876.275	1.590.629	166.172
15	792.941	80.494	873.435	1.590.629	160.509

Fuente: Elaboración propia, 2024

En la tabla anterior se puede observar que el punto de equilibrio inicia en el primer año, donde los costos están más cercanos a los ingresos totales obtenidos por la venta del producto producido.

Es por esto que el valor monetario del punto de equilibrio es:

$$P.E. = \underline{\underline{571.648 \text{ Bs}}}$$

5.2. DETERMINACIÓN DE INDICADORES ECONÓMICOS

Los indicadores de evaluación de inversiones índices que nos ayudan a determinar si un proyecto es o no conveniente para un inversionista.

Permiten ordenar los proyectos de una cartera de inversión, permiten optimizar distintas decisiones relevantes del proyecto (ubicación, tecnología, momento óptimo para invertir o abandonar, etc.,)

Los principales indicadores de evaluación de proyectos son:

- Valor actual neto (VAN)
- Tasa interna de retorno (TIR)
- Índice de la rentabilidad
- Valor económico agregado

5.3. TASA INTERNA DE RETORNO. VALOR ACTUAL NETO. TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN.

El VAN mide el aporte económico de un proyecto a los inversionistas. Esto significa que refleja el aumento o disminución de la riqueza de los inversionistas al participar en los proyectos.

El VAN es el excedente que queda para los inversionistas después de haber recuperado la inversión y el costo de oportunidad de los recursos destinados. Las alternativas con mayor valor actual neto (VAN) son aquellas que maximizan la riqueza.

CRITERIO DE DECISION

$VAN > 0$: conviene hacer el Proyecto

$VAN = 0$: Indiferente

$VAN < 0$: No conviene hacer el proyecto

A medida que la tasa de interés aumenta disminuye el valor actual neto. Para el presente proyecto se realiza un cálculo de los indicadores del valor actual neto (VAN) y tasa de interna de retorno (TIR):

Tabla V- 2 :Flujo Económico Actual (Bs)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Flujo EC Actual (1-2)	590.332,28	159.180,74	304.843,22	492.863,04	718.009,71	720.395,31	722.780,91	725.166,51	727.552,11	729.937,71	732.323,31	734.708,91	737.094,51	739.480,11	741.865,71	913.623,36

Fuente: Elaboración propia, 2024

El cálculo del indicador VAN se calcula con la tasa de interés de:

INSERTAR LA TASA DE INTERES DE V.A.N= 0,12

Y aplicando la siguiente formula:

$$V.A.N = \frac{FN_0}{(1+i)^0} + \frac{FN_1}{(1+i)^1} + \frac{FN_2}{(1+i)^2} + \frac{FN_3}{(1+i)^3} + \frac{FN_4}{(1+i)^4} + \frac{FN_5}{(1+i)^5}$$

Se determina el indicador del VAN del proyecto:

V.A.N= 986.362,58

Se obtiene un VAN positivo, lo que indica que el proyecto es factible según este indicador.

Como el VAN calculado es mayor que cero, lo más recomendable sería aceptar el proyecto, pero se debe tener en cuenta que este es solo el análisis matemático y que también existen otros factores que pueden influir en la decisión, como el riesgo inherente al proyecto, el entorno social, político o a la misma naturaleza que circunda el proyecto, es por ello que la decisión debe tomarse con mucho tacto.

No confundir TIR con el costo de oportunidad del capital. La TIR es una medida de rentabilidad que depende del perfil de flujos de caja particulares del proyecto, mientras que el costo de capital es la rentabilidad ofrecida en el mercado de capitales por activos del mismo nivel de riesgo.

La TIR trata de medir la rentabilidad de un proyecto o activo. Representa la rentabilidad media intrínseca del proyecto. Se define la tasa interna de retorno como aquella que hace que el valor presente neto sea igual a cero.

Con los mismos datos del flujo económico actual se calcula la tasa interna de retorno (TIR).

Insertando un interés y aplicando la fórmula para determinar un VAN negativo.

INSERTAR LA TASA DE INTERES DE V.A.N
Hasta que sea negativo

0,64

Tabla V- 3 :FLUJO ECONOMICO PARA CALCULO DE TIR

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Flujo EC Actual (1-2)	590.332,28	159.180,74	304.843,22	492.863,04	718.009,71	720.395,31	722.780,91	725.166,51	727.552,11	729.937,71	732.323,31	734.708,91	737.094,51	739.480,11	741.865,71	913.623,36

Fuente: Elaboración propia, 2024

V.A.N=	- 10.580,88
T.I.R=	63,86

Aplicando la siguiente fórmula para determinar el TIR financiero:

$$TIR = i_1 + (i_2 - i_1) \left[\frac{VAN_1}{VAN_1 + VAN_2} \right]$$

Quiere decir; si calculamos el VAN con una $i = 63,86\%$ se obtiene un valor igual a cero. Asumiendo que el costo de oportunidad del capital invertido es el 12% (tasa utilizada para el cálculo del VAN), entonces el dinero invertido rinde el 52 % anual por encima de lo que se hubiera ganado depositando ese dinero en el banco al 12% de interés o en otras alternativas de inversión.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES'

6.1. Conclusiones:

- 1) La producción de biodiesel a partir de aceite de cocina descartado, puede prevenir una mitigación de la contaminación ambiental, ya que se evitaría que este residuo vaya a sistema de alcantarillas.
- 2) Los éster metílico de aceites reusados con el pretratamiento adecuado demuestran ser aptos para utilizarse como combustibles en motores de diésel. El rendimiento del tratamiento de la materia prima seleccionado es de 89-90% es económicamente factible para disminuir las pérdidas de materia prima.
- 3) El proceso de producción para la obtención de biodiesel es transesterificación alcalina, es un proceso ampliamente usado y el más común, aun si la materia prima son los aceites usados se debe tener cuenta que esta materia prima no se encuentra muy degradada en especial en los porcentajes de ácidos grasos, no debe ser mayor a 2 % AGL. En caso de ser mayor requiere un tratamiento para la eliminación de AGL antes de proceder a la reacción de transesterificación.
- 4) El estudio de mercado realizado en el presente trabajo deja en evidencia que el departamento de Tarija posee una marcada dependencia a la importación de diésel de petróleo, ya que en un 50 a 60% del total comercializado en el departamento corresponde a volúmenes importados, cubriendo estos la totalidad del déficit de este combustible en la región; por lo que se concluye que la introducción del producto biodiesel en el mercado tarijeño deberá apuntar a la sustitución de la importación.
- 5) Según los porcentajes de incorporación de biodiesel al diésel de petróleo, deberían producirse 21,7 kbbl/año de biodiesel de los cuales el proyecto debido a la condición limitante de la capacidad de materia prima aceite usado vegetal, estaría en condiciones de producir 7,41 kbbl/ año (miles de barriles/año), se estima que la planta cubrirá el 35 % del volumen de biodiesel que se necesitara para cubrir la demanda insatisfecha es decir el consumo de importación de la ciudad

de Tarija.

- 6) La implementación del presente proyecto demandaría una inversión total de 186 mil dólares de los cuales el 90% estaría destinado a la inversión fija y diferida, lo restante un 10% es el capital de trabajo. El capital de los socios puede aportar un 30% del total de la inversión y el resto se buscaría fuentes de financiamiento a un interés de 6 %.
- 7) Los indicadores económicos, muestran claramente que el presente proyecto es altamente rentable. Según indicadores del VAN y TIR. Pero se descarta la factibilidad por el precio unitario calculado de 5,90 Bs Litro de Biodiesel frente a 3,72 Bs el litro de diésel oíl subvencionado, lo que es una considerable diferencia. Pero viendo una implementación gradual para el mejor del ambiente se podría considerar la compra de este producto si se establece como Ley.
- 8) La rentabilidad del proyecto se incrementaría si se incluye en su estructura a la purificación de la glicerina, ya que éste último tiene un precio competitivo en el mercado. Así disminuirá el precio de biodiesel para la mayor facilidad de la adquisición de este producto.
- 9) Los indicadores económicos financieros del proyecto resultan alentadores con un VAN positivo 7765401,68 y un TIR del 81 % durante un periodo de 10 años de producción.

6.2.Recomendaciones

- 10) Se recomienda utilizar etanol en cuenta de metanol por minimizar el costo del insumo. Realizando un estudio de investigación para notar las diferencias de este insumo, verificando si fuese aceptable.
- 11) Buscar nuevas alternativas del proceso de obtención, con un rendimiento superior al 88 % . Para mejorar en el ámbito económico y disminuir el precio de venta.
- 12) Se puede implementar un proyecto prueba piloto en la ciudad de Tarija, para

obtención de biodiesel, con pruebas de diseño del método propuesto.

- 13) Debe haber un apoyo estatal a través de las alcaldías o prefecturas para la reutilización de los aceites usados, mediante regulaciones que eviten el descarte de estos en las alcantarillas o en su defecto su reúso en alimentos que causa daño a la salud.
- 14) Educar a la población sobre las ventajas de optar por recursos ecológicos como el biodiesel, para concientizar a reutilizar los aceites usados vegetales para la obtención de este producto.
- 15) Se debe efectuar un estudio serio sobre la vida útil del biodiesel.
- 16) Se recomienda realizar pruebas en motores a largo plazo, para verificar su comportamiento.
- 17) Realizar un estudio de investigación sobre la refinación de la glicerina bruta, en el estudio económico para bajar el precio unitario del producto biodiesel.
- 18) Realizar un estudio de investigación sobre el mercado de la glicerina bruta y refinada.